

1. Khái niệm về quá trình quá độ điện từ
2. Các chỉ dẫn khi tính toán ngắn mạch
3. Quá trình quá độ trong mạch điện đơn giản
4. Tình trạng ngắn mạch duy trì
5. Quá trình quá độ trong máy điện
6. Các phương pháp tính toán ngắn mạch

Khái niệm về quá trình quá độ điện từ
Các khái niệm về quá trình quá độ điện từ

Nội dung

KHÁI NIỆM CHUNG

Chế độ của hệ thống điện thay đổi đột ngột sẽ làm phát sinh quá trình quá độ điện từ, trong đó quá trình phát sinh do ngắn mạch là nguy hiểm nhất. Để tính chọn các thiết bị điện và bảo vệ rơle cần phải xét đến quá trình quá độ khi:

- ngắn mạch.
- ngắn mạch kèm theo đứt dây.
- cắt ngắn mạch bằng máy cắt điện.

Khi xảy ra ngắn mạch, tổng trở của hệ thống điện giảm, làm dòng điện tăng lên, điện áp giảm xuống. Nếu không nhanh chóng cô lập điểm ngắn mạch thì hệ thống sẽ chuyển sang chế độ ngắn mạch duy trì (xác lập).

Từ lúc xảy ra ngắn mạch cho đến khi cắt nó ra, trong hệ thống điện xảy ra quá trình quá độ làm thay đổi dòng và áp. Dòng trong quá trình quá độ thường gồm 2 thành phần: chu kỳ và không chu kỳ. Trường hợp hệ thống có đường dây truyền tải điện áp từ 330 KV trở lên thì trong dòng ngắn mạch ngoài thành phần tần số cơ bản còn các thành phần sóng hài bậc cao. Nếu đường dây có tụ bù dọc sẽ có thêm thành phần sóng hài bậc thấp.

Nhiệm vụ của môn học ngắn mạch là nghiên cứu diễn tiến của quá trình ngắn mạch trong hệ thống điện, đồng thời xét đến các phương pháp thực dụng tính toán ngắn mạch.

CÁC ĐỊNH NGHĨA CƠ BẢN

- Ngắn mạch: là một loại sự cố xảy ra trong hệ thống điện do hiện tượng chạm chập giữa các pha không thuộc chế độ làm việc bình thường.

- Trong hệ thống có trung tính nối đất (hay 4 dây) chạm chập một pha hay nhiều pha với đất (hay với dây trung tính) cũng được gọi là ngắn mạch.

- Trong hệ thống có trung tính cách điện hay nối đất qua thiết bị bù, hiện tượng chạm chập một pha với đất được gọi là chạm đất. Dòng chạm đất chủ yếu là do điện dung các pha với đất.

- Ngắn mạch gián tiếp: là ngắn mạch qua một điện trở trung gian, gồm điện trở do hồ quang điện và điện trở của các phần tử khác trên đường đi của dòng điện từ pha này đến pha khác hoặc từ pha đến đất.

Điện trở hồ quang điện thay đổi theo thời gian, thường rất phức tạp và khó xác định chính xác. Theo thực nghiệm:

$$R = \frac{1000.l}{I} [\Omega]$$

trong đó: I - dòng ngắn mạch [A]

l - chiều dài hồ quang điện [m]

- Ngắn mạch trực tiếp: là ngắn mạch qua một điện trở trung gian rất bé, có thể bỏ qua (còn được gọi là ngắn mạch kim loại).
- Ngắn mạch đối xứng: là dạng ngắn mạch vẫn duy trì được hệ thống dòng, áp 3 pha ở tình trạng đối xứng.
- Ngắn mạch không đối xứng: là dạng ngắn mạch làm cho hệ thống dòng, áp 3 pha mất đối xứng.

- Không đối xứng ngang: khi sự cố xảy ra tại một điểm, mà tổng trở các pha tại điểm đó như nhau.

- Không đối xứng dọc: khi sự cố xảy ra mà tổng trở các pha tại một điểm không như nhau.

- Sự cố phức tạp: là hiện tượng xuất hiện nhiều dạng ngắn mạch không đối xứng ngang, dọc trong hệ thống điện.

Ví dụ: đứt dây kèm theo chạm đất, chạm đất hai pha tại hai điểm khác nhau trong hệ thống có trung tính cách đất.

Bảng 1.1: Ký hiệu và xác suất xảy ra các dạng ngắn mạch

dạng ngắn mạch	hình vẽ quy ước	kí hiệu	xác suất xảy ra %
3 pha	***SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.***	N(3)	5
2 pha	***SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.***	N(2)	10
2 pha-đất	***SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.***	N(1,1)	20
1 pha	***SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.***	N(1)	65

NGUYÊN NHÂN VÀ HẬU QUẢ CỦA NGẮN MẠCH

Nguyên nhân:

- Cách điện của các thiết bị già cỗi, hư hỏng.
- Quá điện áp.
- Các ngẫu nhiên khác, thao tác nhầm hoặc do được dự tính trước...

Hậu quả:

- Phát nóng: dòng ngắn mạch rất lớn so với dòng định mức làm cho các phần tử có dòng ngắn mạch đi qua nóng quá mức cho phép dù với một thời gian rất ngắn.
- Tăng lực điện động: ứng lực điện từ giữa các dây dẫn có giá trị lớn ở thời gian đầu của ngắn mạch có thể phá hỏng thiết bị.
- Điện áp giảm và mất đối xứng: làm ảnh hưởng đến phụ tải, điện áp giảm 30 đến 40% trong vòng một giây làm động cơ điện có thể ngừng quay, sản xuất đình trệ, có thể làm hỏng sản phẩm.
- Gây nhiễu đối với đường dây thông tin ở gần do dòng thứ tự không sinh ra khi ngắn mạch chạm đất.
- Gây mất ổn định: khi không cách ly kịp thời phần tử bị ngắn mạch, hệ thống có thể mất ổn định và tan rã, đây là hậu quả trầm trọng nhất.

MỤC ĐÍCH TÍNH TOÁN NGẮN MẠCH VÀ YÊU CẦU ĐỐI VỚI CHÚNG:

Khi thiết kế và vận hành các hệ thống điện, nhằm giải quyết nhiều vấn đề kỹ thuật yêu cầu tiến hành hàng loạt các tính toán sơ bộ, trong đó có tính toán ngắn mạch.

Tính toán ngắn mạch thường là những tính toán dòng, áp lúc xảy ra ngắn mạch tại một số điểm hay một số nhánh của sơ đồ đang xét. Tùy thuộc mục đích tính toán mà các đại lượng trên có thể được tính ở một thời điểm nào đó hay diễn biến của chúng trong suốt cả quá trình quá độ. Những tính toán như vậy cần thiết để giải quyết các vấn đề sau:

- So sánh, đánh giá, chọn lựa sơ đồ nối điện.
- Chọn các khí cụ, dây dẫn, thiết bị điện.
- Thiết kế và chỉnh định các loại bảo vệ.
- Nghiên cứu phụ tải, phân tích sự cố, xác định phân bố dòng...

Trong hệ thống điện phức tạp, việc tính toán ngắn mạch một cách chính xác rất khó khăn. Do vậy tùy thuộc yêu cầu tính toán mà trong thực tế thường dùng các phương pháp thực nghiệm, gần đúng với các điều kiện đầu khác nhau để tính toán ngắn mạch.

Chẳng hạn để tính chọn máy cắt điện, theo điều kiện làm việc của nó khi ngắn mạch cần phải xác định dòng ngắn mạch lớn nhất có thể có. Muốn vậy, người ta giả thiết rằng ngắn mạch xảy ra lúc hệ thống điện có số lượng máy phát làm việc nhiều nhất, dạng ngắn mạch gây nên dòng lớn nhất, ngắn mạch là trực tiếp, ngắn mạch xảy ra ngay tại đầu cực máy cắt ...

Để giải quyết các vấn đề liên quan đến việc chọn lựa và chỉnh định thiết bị bảo vệ rơle thường phải tìm dòng ngắn mạch nhỏ nhất. Lúc ấy tất nhiên cần phải sử dụng những điều kiện tính toán hoàn toàn khác với những điều kiện nêu trên.

Các chỉ dẫn khi tính toán ngắn mạch
Các chỉ dẫn khi tính toán ngắn mạch

Những giả thiết cơ bản:

Khi xảy ra ngắn mạch sự cân bằng công suất từ điện, cơ điện bị phá hoại, trong hệ thống điện đồng thời xảy ra nhiều yếu tố làm các thông số biến thiên mạnh và ảnh hưởng tương hỗ nhau. Nếu kể đến tất cả những yếu tố ảnh hưởng, thì việc tính toán ngắn mạch sẽ rất khó khăn. Do đó, trong thực tế người ta đưa ra những giả thiết nhằm đơn giản hóa vấn đề để có thể tính toán.

Mỗi phương pháp tính toán ngắn mạch đều có những giả thiết riêng của nó. Ở đây ta chỉ nêu ra các giả thiết cơ bản chung cho việc tính toán ngắn mạch.

1. Mạch từ không bão hòa: giả thiết này sẽ làm cho phương pháp phân tích và tính toán ngắn mạch đơn giản rất nhiều, vì mạch điện trở thành tuyến tính và có thể dùng nguyên lý xếp chồng để phân tích quá trình.
2. Bỏ qua dòng điện từ hóa của máy biến áp: ngoại trừ trường hợp máy biến áp 3 pha 3 trụ nối Yo/Yo.
3. Hệ thống điện 3 pha là đối xứng: sự mất đối xứng chỉ xảy ra đối với từng phần tử riêng biệt khi nó bị hư hỏng hoặc do cố ý có dự tính.
4. Bỏ qua dung dẫn của đường dây: giả thiết này không gây sai số lớn, ngoại trừ trường hợp tính toán đường dây cao áp tải điện đi cực xa thì mới xét đến dung dẫn của đường dây.
5. Bỏ qua điện trở tác dụng: nghĩa là sơ đồ tính toán có tính chất thuần kháng. Giả thiết này dùng được khi ngắn mạch xảy ra ở các bộ phận điện áp cao, ngoại trừ khi bắt buộc phải xét đến điện trở của hồ quang điện tại chỗ ngắn mạch hoặc khi tính toán ngắn mạch trên đường dây cáp dài hay đường dây trên không tiết diện bé. Ngoài ra lúc tính hằng số thời gian tắt dần của dòng điện không chu kỳ cũng cần phải tính đến điện trở tác dụng.
6. Xét đến phụ tải một cách gần đúng: tùy thuộc giai đoạn cần xét trong quá trình quá độ có thể xem gần đúng tất cả phụ tải như là một tổng trở không đổi tập trung tại một nút chung.
7. Các máy phát điện đồng bộ không có dao động công suất: nghĩa là góc lệch pha giữa sức điện động của các máy phát điện giữ nguyên không đổi trong quá trình ngắn mạch. Nếu góc lệch pha giữa sức điện động của các máy phát điện tăng lên thì dòng trong nhánh sự cố giảm xuống, sử dụng giả thiết này sẽ làm cho việc tính toán đơn giản hơn và trị số dòng điện tại chỗ ngắn mạch là lớn nhất. Giả thiết này không gây sai số lớn, nhất là khi tính toán trong giai đoạn đầu của quá trình quá độ (0,1 – 0,2 sec).

Hệ đơn vị tương đối:

Bất kỳ một đại lượng vật lý nào cũng có thể biểu diễn trong hệ đơn vị có tên hoặc trong hệ đơn vị tương đối. Trị số trong đơn vị tương đối của một đại lượng vật lý nào đó là tỷ số giữa nó với một đại lượng vật lý khác cùng thứ nguyên được chọn làm đơn vị đo lường. Đại lượng vật lý chọn làm đơn vị đo lường được gọi đại lượng cơ bản.

Như vậy, muốn biểu diễn các đại lượng trong đơn vị tương đối trước hết cần chọn các đại lượng cơ bản. Khi tính toán đối với hệ thống điện 3 pha người ta dùng các đại lượng cơ bản sau:

S_{cb} : công suất cơ bản 3 pha.

U_{cb} : điện áp dây cơ bản.

I_{cb} : dòng điện cơ bản.

Z_{cb} : tổng trở pha cơ bản.

t_{cb} : thời gian cơ bản.

α_{cb} : tốc độ góc cơ bản.

Xét về ý nghĩa vật lý, các đại lượng cơ bản này có liên hệ với nhau qua các biểu thức sau:

$$S_{cb} = \sqrt{3} U_{cb} \cdot I_{cb} \quad (2.1)$$

$$Z_{cb} = \frac{U_{cb}}{\sqrt{3} \cdot I_{cb}} \quad (2.2)$$

$$t_{cb} = \frac{1}{w_{cb}} \quad (2.3)$$

Do đó ta chỉ có thể chọn tùy ý một số đại lượng cơ bản, các đại lượng cơ bản còn lại được tính từ các biểu thức trên. Thông thường chọn trước S_{cb} , U_{cb} và I_{cb} .

Khi đã chọn các đại lượng cơ bản thì các đại lượng trong đơn vị tương đối được tính từ các đại lượng thực như sau:

$$\begin{aligned} E_{(cb)} &= \frac{E}{U_{cb}}; U_{(cb)} = \frac{U}{U_{cb}} \\ S_{(cb)} &= \frac{S}{S_{cb}}; I_{(cb)} = \frac{I}{I_{cb}} \\ Z_{(cb)} &= \frac{Z}{Z_{cb}} = Z \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot I_{cb}}{U_{cb}} = Z \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2} \end{aligned}$$

$E_{(cb)}$ đọc là E tương đối cơ bản (tức là sức điện động E trong hệ đơn vị tương đối với lượng cơ bản là U_{cb}). Sau này khi ý nghĩa đã rõ ràng và sử dụng quen thuộc thì có thể bỏ dấu (*) và (cb).

- Một số tính chất của hệ đơn vị tương đối:

1. Các đại lượng cơ bản dùng làm đơn vị đo lường cho các đại lượng toàn phần cũng đồng thời dùng cho các thành phần của chúng.

Ví dụ: S_{cb} dùng làm đơn vị đo lường chung cho S, P, Q; Z_{cb} - cho Z, R, X.

1. Trong đơn vị tương đối điện áp pha và điện áp dây bằng nhau, công suất 3 pha và công suất 1 pha cũng bằng nhau.
2. Một đại lượng thực có thể có giá trị trong đơn vị tương đối khác nhau tùy thuộc vào lượng cơ bản và ngược lại cùng một giá trị trong đơn vị tương đối có thể tương ứng với nhiều đại lượng thực khác nhau.
3. Thường tham số của các thiết bị được cho trong đơn vị tương đối với lượng cơ bản là định mức của chúng (S_{dm} , U_{dm} , I_{dm}). Lúc đó:

$$Z_{(\%m)} = \frac{Z}{Z_{\%m}} = Z \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\%m}}{U_{\%m}} = Z \cdot \frac{S_{\%m}}{U_{\%m}^2}$$

1. Đại lượng trong đơn vị tương đối có thể được biểu diễn theo phần trăm, ví dụ như ở kháng điện, máy biến áp...

$$X_K \% = 100 \cdot X_{(\%m)} = X_K \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\%m}}{U_{\%m}} \cdot 100$$

$$X_B \% = X_B \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\%m}}{U_{\%m}} \cdot 100 = U_N$$

- Tính đổi đại lượng trong hệ đơn vị tương đối:

Một đại lượng trong đơn vị tương đối là $A_{(cb1)}$ với lượng cơ bản là A_{cb1} có thể tính đổi thành $A_{(cb2)}$ tương ứng với lượng cơ bản là A_{cb2} theo biểu thức sau:

$$A_t = A_{(cb1)} \cdot A_{cb1} = A_{(cb2)} \cdot A_{cb2}$$

Ví dụ, đã cho $E_{(cb1)}$, $Z_{(cb1)}$ ứng với các lượng cơ bản (S_{cb1} , U_{cb1} , I_{cb1}) cần tính đổi sang hệ đơn vị tương đối ứng với các lượng cơ bản (S_{cb2} , U_{cb2} , I_{cb2}):

$$E_{(cb2)} = E_{(cb1)} \cdot \frac{U_{cb1}}{U_{cb2}}$$

$$Z_{(cb2)} = Z_{(cb1)} \cdot \frac{I_{cb2}}{I_{cb1}} \cdot \frac{U_{cb1}}{U_{cb2}} = Z_{(cb1)} \cdot \frac{S_{cb2}}{S_{cb1}} \cdot \frac{U_{cb1}^2}{U_{cb2}^2}$$

Nếu tính đổi các tham số ứng với lượng định mức (S_{dm} , U_{dm} , I_{dm}) thành giá trị ứng với lượng cơ bản (S_{cb} , U_{cb} , I_{cb}) thì:

$$E_{(cb)} = E_{(\%om)} \cdot \frac{U_{\%om}}{U_{cb}}$$

$$Z_{(cb)} = Z_{(\%om)} \cdot \frac{I_{cb}}{I_{\%om}} \cdot \frac{U_{\%om}}{U_{cb}} = Z_{(\%om)} \cdot \frac{S_{cb}}{S_{\%om}} \cdot \frac{U_{\%om}^2}{U_{cb}^2}$$

Khi chọn $U_{cb} = U_{dm}$ ta có các biểu thức đơn giản sau:

$$E_{(cb)} = E_{(\%om)}$$

$$Z_{(cb)} = Z_{(\%om)} \cdot \frac{I_{cb}}{I_{\%om}} = Z_{(\%om)} \cdot \frac{S_{cb}}{S_{\%om}}$$

- Chọn các đại lượng cơ bản:

Thực tế trị số định mức của các thiết bị ở cùng một cấp điện áp cũng không giống nhau. Tuy nhiên, sự khác nhau đó không nhiều (trong khoảng 10%), ví dụ điện áp định mức của máy phát điện là 11KV, máy biến áp - 10,5KV, kháng điện - 10KV. Do đó trong tính toán gần đúng ta có thể xem điện áp định mức U_{dm} của các thiết bị ở cùng một cấp điện áp là như nhau và bằng giá trị trung bình U_{tb} của cấp điện áp đó. Theo qui ước có các U_{tb} sau [KV]:

500; 330; 230; 154; 115; 37; 20; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15; 0,525

Khi tính toán gần đúng người ta chọn $U_{cb} = U_{dm} = U_{tb}$, riêng đối với kháng điện nên tính chính xác với lượng định mức của nó vì giá trị điện kháng của kháng điện chiếm phần lớn trong điện kháng tổng của sơ đồ, nhất là đối với những trường hợp kháng điện làm việc ở điện áp khác với cấp điện áp định mức của nó (ví dụ, kháng điện 10KV làm việc ở cấp 6KV).

Nói chung các đại lượng cơ bản nên chọn sao cho việc tính toán trở nên đơn giản, tiện lợi. Đối với S_{cb} nên chọn những số tròn (chẳng hạn như 100, 200, 1000MVA,...) hoặc đôi khi chọn bằng tổng công suất định mức của sơ đồ.

Trong hệ đơn vị tương đối, một đại lượng vật lý này cũng có thể biểu diễn bằng một đại lượng vật lý khác có cùng trị số tương đối. Ví dụ nếu chọn δb làm lượng cơ bản thì khi $*(\delta b) = 1$ ta có:

$$X_{(cb)} = w_{(\%ob)} \cdot L_{(cb)} = L_{(cb)}$$

$$X_{(cb)} = w_{(\%ob)} \cdot M_{(cb)} = M_{(cb)}$$

$$y_{(cb)} = I_{(cb)} \cdot L_{(cb)} = L_{(cb)} \cdot X_{(cb)}$$

$$E_{(cb)} = w_{(\%ob)} \cdot y_{(cb)} = y_{(cb)}$$

Cách thành lập sơ đồ thay thế:

Sơ đồ thay thế là sơ đồ cho phép thế các mạch liên hệ nhau bởi từ trường bằng một mạch điện tương đương bằng cách qui đổi tham số của các phần tử ở các cấp điện áp khác nhau về một cấp được chọn làm cơ sở. Các tham số của sơ đồ thay thế có thể xác định trong hệ đơn vị có tên hoặc hệ đơn vị tương đối, đồng thời có thể tính gần đúng hoặc tính chính xác.

Qui đổi chính xác trong hệ đơn vị có tên:

SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.

Hình 2.1 : Sơ đồ mạng điện có nhiều cấp điện áp

Xét mạng điện có nhiều cấp điện áp khác nhau (hình 2.1) được nối với nhau bằng n máy biến áp có tỷ số biến áp k_1, k_2, \dots, k_n . Chọn một đoạn tùy ý làm đoạn cơ sở, ví dụ đoạn đầu tiên. Tham số của tất cả các đoạn còn lại sẽ được tính qui đổi về đoạn cơ sở.

Sức điện động, điện áp, dòng điện và tổng trở của đoạn thứ n được qui đổi về đoạn cơ sở theo các biểu thức sau:

$$E_{nq\%} = (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n) E_n$$

$$U_{nq\%} = (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n) U_n$$

$$I_{nq\%} = \frac{1}{k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n} I_n$$

$$Z_{nq\%} = (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n)^2 Z_n$$

Các tỷ số biến áp k trong những biểu thức trên lấy bằng tỷ số biến áp lúc không tải. Các thành phần trong tích các tỷ số biến áp k chỉ lấy của những máy biến áp nằm giữa đoạn xét và đoạn cơ sở, “chiều” của tỷ số biến áp k lấy từ đoạn cơ sở đến đoạn cần xét.

$$k_1 = \frac{U_{cs}}{U_1}; k_2 = \frac{U_1'}{U_2}; \dots; k_n = \frac{U_{n-1}'}{U_n}$$

Trong những biểu thức qui đổi trên, nếu các đại lượng cho trước trong đơn vị tương đối thì phải tính đổi về đơn vị có tên. Ví dụ, đã cho $Z^*(\text{đm})$ thì:

$$Z = Z(\%) \cdot \frac{U_{\%m}}{\sqrt{3} \cdot I_{\%m}} = Z(\%) \cdot \frac{U_{\%m}^2}{S_{\%m}} \quad (2.4)$$

Qui đổi gần đúng trong hệ đơn vị có tên:

Việc qui đổi gần đúng được thực hiện dựa trên giả thiết là xem điện áp định mức của các phần tử trên cùng một cấp điện áp là như nhau và bằng trị số điện áp trung bình của cấp đó. Tức là:

$$U_1 = U_1^{\text{đ}} = U_{tb1}; U_2 = U_2^{\text{đ}} = U_{tb2}; \dots$$

Như vậy:

$$k_1 = \frac{U_{tbcs}}{U_{tb1}}; k_2 = \frac{U_{tb1}}{U_{tb2}}; \dots; k_n = \frac{U_{tbn-1}}{U_{tbn}}$$

Do đó ta sẽ có các biểu thức qui đổi đơn giản hơn:

$$E_{nq\%} = \frac{U_{tbcs}}{U_{tb1}} \cdot \frac{U_{tb1}}{U_{tb2}} \cdot \dots \cdot \frac{U_{tbn-1}}{U_{tbn}} \cdot E_n = \frac{U_{tbcs}}{U_{tbn}} \cdot E_n$$

$$I_{nq\%} = \frac{U_{tbn}}{U_{tbcs}} \cdot I_n$$

Tương tự:

$$Z_{nq\%} = \left(\frac{U_{tbcs}}{U_{tbn}} \right)^2 \cdot Z_n$$

Nếu các phần tử có tổng trở cho trước trong đơn vị tương đối, thì tính đổi gần đúng về đơn vị có tên theo biểu thức (2.4) trong đó thay $U_{đm} = U_{tb}$.

Qui đổi chính xác trong hệ đơn vị tương đối:

Tương ứng với phép qui đổi chính xác trong hệ đơn vị có tên ta cũng có thể dùng trong hệ đơn vị tương đối bằng cách sau khi đã qui đổi về đoạn cơ sở trong đơn vị có tên, chọn các lượng cơ bản của đoạn cơ sở và tính đổi về đơn vị tương đối. Tuy nhiên phương pháp này ít được sử dụng, người ta thực hiện phổ biến hơn trình tự qui đổi như sau:

- Chọn đoạn cơ sở và các lượng cơ bản S_{cb} , U_{cbcs} của đoạn cơ sở.
- Tính lượng cơ bản của các đoạn khác thông qua các tỷ số biến áp k_1, k_2, \dots, k_n . Công suất cơ bản S_{cb} đã chọn là không đổi đối với tất cả các đoạn. Các lượng cơ bản U_{cbn} và I_{cbn} của đoạn thứ n được tính như sau:

$$U_{cbn} = \frac{1}{k_1 \cdot k_2 \dots k_n} U_{cbcs}$$

$$I_{cbn} = (k_1 \cdot k_2 \dots k_n) I_{cbcs} = \frac{S_{cb}}{\sqrt{3} \cdot U_{cbn}}$$

$$(S_{cbn} = S_{cbcs} = S_{cb})$$

- Tính đổi tham số của các phần tử ở mỗi đoạn sang đơn vị tương đối với lượng cơ bản của đoạn đó:
- Nếu tham số cho trong đơn vị có tên thì dùng các biểu thức tính đổi từ hệ đơn vị có tên sang hệ đơn vị tương đối. Ví dụ:

$$U_{(cb)} = \frac{U}{U_{cb}}; Z_{(cb)} = Z \cdot \frac{S_{cb}}{U_{cb}^2}$$

- Nếu tham số cho trong đơn vị tương đối với lượng cơ bản là định mức hay một lượng cơ bản nào đó thì dùng các biểu thức tính đổi hệ đơn vị tương đối. Ví dụ:

$$Z_{(cb)} = Z_{(\%om)} \cdot \frac{S_{cb}}{S_{\%om}} \cdot \frac{U_{\%om}^2}{U_{cb}^2}$$

Qui đổi gần đúng trong hệ đơn vị tương đối:

Tương tự như qui đổi gần đúng trong hệ đơn vị có tên, ta xem k là tỷ số biến áp trung bình, do vậy việc tính toán sẽ đơn giản hơn. Trình tự qui đổi như sau:

- Chọn công suất cơ bản S_{cb} chung cho tất cả các đoạn.
- Trên mỗi đoạn lấy $U_{đm} = U_{tb}$ của cấp điện áp tương ứng.
- Tính đổi tham số của các phần tử ở mỗi đoạn sang đơn vị tương đối theo các biểu thức gần đúng.

Một số điểm cần lưu ý:

- Độ chính xác của kết quả tính toán không phụ thuộc vào hệ đơn vị sử dụng mà chỉ phụ thuộc vào phương pháp tính chính xác hay gần đúng.

- Khi tính toán trong hệ đơn vị có tên thì kết quả tính được là giá trị ứng với đoạn cơ sở đã chọn. Muốn tìm giá trị thực ở đoạn cần xét phải qui đổi ngược lại.

Ví dụ: Dòng tìm được ở đoạn cơ sở là $I_{cs} = I_n$ qđ. Dòng thực ở đoạn thứ n là:

$$I_n = (k_1 \cdot k_2 \dots k_n) I_n \text{ qđ}$$

- Khi tính toán trong hệ đơn vị tương đối thì kết quả tính được là ở trong đơn vị tương đối, muốn tìm giá trị thực ở một đoạn nào đó chỉ cần nhân kết quả tính được với lượng cơ bản của đoạn đó.

Ví dụ: Dòng tính được là I^*n . Dòng thực ở đoạn thứ n là:

$$I_n = I_n \cdot I_{\text{cbn}} = I_n \cdot \frac{S_{\text{cb}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{cbn}}}$$

Bảng 2.1: Tóm tắt một số biểu thức tính toán tham số của các phần tử

THIẾT BỊ	SƠ ĐỒ THAY THẾ	THAM SỐ TRA ĐƯỢC	TÍNH TRONG ĐƠN VỊ CÓ TÊN
Máy phát	***SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.***	x”d, Sđm, Uđm	x_d
Máy biến áp (2 cuộn dây)	***SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.***	uN%, k, Sđm	$\frac{u_N}{100} \cdot \frac{U_{\%m}^2}{S_{\%m}}$
Kháng điện	***SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.***	X%, Iđm, Uđm	$\frac{X}{100} \cdot \frac{U_{\%m}}{\sqrt{3} \cdot I_{\%m}}$
Đường dây	***SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.***	X1 [/Km]	X1.1

Chú ý:

Đối với máy biến áp 3 cuộn dây thì các tham số tra được là điện áp ngắn mạch giữa các cuộn dây: uN I-II% , uN I-III% , uN II-III% , ta phải tính uN% của từng cuộn dây và sau đó tính điện kháng của từng cuộn dây theo các biểu thức trong bảng 2.1 đối với máy biến áp 2 cuộn dây. Điện áp ngắn mạch uN% của từng cuộn dây được tính như sau:

$$uN\ I\% = 0,5 (uN\ I-II\% + uN\ I-III\% - uN\ II-III\%)$$

$$uN\ II\% = uN\ I-II\% - uN\ I\%$$

$$uN\ III\% = uN\ I-III\% - uN\ I\%$$

Biến đổi sơ đồ thay thế

Các phép biến đổi sơ đồ thay thế được sử dụng trong tính toán ngắn mạch nhằm mục đích biến đổi những sơ đồ thay thế phức tạp của hệ thống điện thành một sơ đồ đơn giản nhất tiện lợi cho việc tính toán, còn gọi là sơ đồ tối giản. Sơ đồ tối giản có thể bao gồm một hoặc một số nhánh nối trực tiếp từ nguồn sức điện động đẳng trị E đến điểm ngắn mạch thông qua một điện kháng đẳng trị X .

Nhánh đẳng trị:

Phép biến đổi này được dùng để ghép song song các nhánh có nguồn hoặc không nguồn thành một nhánh tương đương. Xét sơ đồ thay thế (hình 2.2a) gồm có n nhánh nối chung vào một điểm M, mỗi nhánh gồm có 1 nguồn sức điện động E_k nối với 1 điện kháng X_k , ta có thể biến đổi nó thành sơ đồ tối giản (hình 2.2b) bằng các biểu thức sau:

$$E_{\%ot} = \frac{\sum_{k=1}^n E_k \cdot Y_k}{\sum_{k=1}^n Y_k}; X_{\%ot} = \frac{1}{\sum_{k=1}^n Y_k}$$

trong đó : $Y_k = 1/X_k$ là điện dẫn của nhánh thứ k.

Khi sơ đồ chỉ có 2 nhánh thì:

$$E_{\%ot} = \frac{E_1 \cdot X_2 + E_2 \cdot X_1}{X_1 + X_2}; X_{\%ot} = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_1 + X_2}$$

Khi $E_1 = E_2 = \dots = E_n = E$ thì $E_{\%ot} = E$.

SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.

Hình 2.2 : Phép biến đổi dùng nhánh đẳng trị

Biến đổi Y - :

Biến đổi sơ đồ thay thế có dạng hình sao gồm 3 nhánh (hình 2.3a) thành tam giác (hình 2.3b) theo các biểu thức sau:

$$X_{12} = X_1 + X_2 + \frac{X_1 \cdot X_2}{X_3}$$

$$X_{13} = X_1 + X_3 + \frac{X_1 \cdot X_3}{X_2}$$

$$X_{23} = X_2 + X_3 + \frac{X_2 \cdot X_3}{X_1}$$

Ngược lại, biến đổi sơ đồ có dạng hình tam giác sao thành hình sao dùng các biểu thức sau:

$$X_1 = \frac{X_{12} \cdot X_{13}}{X_{12} + X_{13} + X_{23}}; X_2 = \frac{X_{12} \cdot X_{23}}{X_{12} + X_{13} + X_{23}}; X_3 = \frac{X_{23} \cdot X_{13}}{X_{12} + X_{13} + X_{23}}$$

SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.

Hình 2.3 : Biến đổi Y -

Biến đổi Y - cũng có thể áp dụng được khi ở các nút có nguồn, lúc đó có thể ứng dụng tính chất đẳng thế để tách ra hay nhập chung các nút có nguồn (ví dụ như trên hình 2.4).

SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.

Hình 2.4 : Tách / nhập các nút có nguồn

Biến đổi sao - lưới:

Sơ đồ thay thế hình sao (hình 2.5a) có thể biến đổi thành lưới (hình 2.5b). Điện kháng giữa 2 đỉnh m và n của lưới được tính như sau:

$$X_{mn} = X_m \cdot X_n \cdot Y$$

trong đó: X_m , X_n là điện kháng của nhánh thứ m và n trong hình sao.

Y là tổng điện dẫn của tất cả các nhánh hình sao.

SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.

Hình 2.5 : Biến đổi sao - lưới

Phép biến đổi này sử dụng tiện lợi trong tính toán ngắn mạch khi có một nút là điểm ngắn mạch và tất cả các nút còn lại là các nút nguồn. Nếu các nguồn là đẳng thế thì điện kháng tương hỗ giữa các nguồn có thể bỏ qua, lúc đó sơ đồ sẽ trở nên rất đơn giản. Ví dụ, từ sơ đồ lưới ở hình 2.5b khi các nút 1, 2, 3, 4 có nguồn đẳng thế và nút 5 là điểm ngắn mạch ta có thể đơn giản thành sơ đồ trên hình 2.6.	***SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.*** Hình 2.6 : Áp dụng biến đổi sao-lưới
--	--

Tách riêng các nhánh tại điểm ngắn mạch:

Nếu ngắn mạch trực tiếp 3 pha tại điểm nút có nối một số nhánh (ví dụ, hình 2.7) , thì có thể tách riêng các nhánh này ra khi vẫn giữ ở đầu mỗi nhánh cũng ngắn mạch như vậy. Sơ đồ nhận được lúc này không có mạch vòng sẽ dễ dàng biến đổi. Tính dòng trong mỗi nhánh khi cho ngắn mạch chỉ trên một nhánh, các nhánh ngắn mạch khác xem như phụ tải có sức điện động bằng không. Dòng qua điểm ngắn mạch là tổng các dòng đã tính ở các nhánh ngắn mạch riêng rẽ.

Phương pháp này thường dùng khi cần tính dòng trong một nhánh ngắn mạch nào đó.

SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.

Hình 2.7 : Tách riêng các nhánh tại điểm ngắn mạch

Lợi dụng tính chất đối xứng của sơ đồ:

Lợi dụng tính chất đối xứng của sơ đồ ta có thể ghép chung các nhánh một cách đơn giản hơn hoặc có thể bỏ bớt một số nhánh mà dòng ngắn mạch không đi qua (hình 2.8).

SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.

SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.

Hình 2.8 : Lợi dụng tính chất đối xứng của sơ đồ

Sử dụng hệ số phân bố dòng:

Hệ số phân bố dòng là hệ số đặc trưng cho phần tham gia của mỗi nguồn vào dòng ngắn mạch với giả thiết là các nguồn có sức điện động bằng nhau và không có phụ tải.

Dùng hệ số phân bố dòng để tính tổng trở tương hỗ giữa các nguồn và điểm ngắn mạch, đưa sơ đồ về dạng rất đơn giản gồm các nguồn nối với điểm ngắn mạch qua tổng trở tương hỗ:

$$Z_{kN} = \frac{Z_S}{C_k}$$

trong đó: Z - tổng trở đẳng trị của toàn sơ đồ đối với điểm ngắn mạch.

C_k - hệ số phân bố dòng của nhánh thứ k .

Hệ số phân bố dòng có thể tìm được bằng mô hình, thực nghiệm hoặc giải tích. Phương pháp giải tích được thực hiện bằng cách cho dòng qua điểm ngắn mạch bằng đơn vị và coi rằng các sức điện động bằng nhau. Dòng tìm được trong các nhánh sẽ là trị số của các hệ số phân bố dòng C_1, C_2, \dots, C_k tương ứng với các nhánh đó.

SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.

Hình 2.9 : Sơ đồ để xác định hệ số phân bố dòng

Ví dụ, cho sơ đồ trên hình 2.9a trong đó các sức điện động bằng nhau, không có phụ tải và cho dòng ngắn mạch $I_N = 1$. Sau khi biến đổi sơ đồ và từ điều kiện cân bằng thế ta có:

$$I_N \cdot X_{dt} = C_1 \cdot X_1 = C_2 \cdot X_2 = C_3 \cdot X_3$$

$$C_1 = \frac{X_{\%ot}}{X_1}; C_2 = \frac{X_{\%ot}}{X_2}; C_3 = \frac{X_{\%ot}}{X_3}$$

$$\text{và: } I_N \cdot X = C_1 \cdot X_1N = C_2 \cdot X_2N = C_3 \cdot X_3N$$

$$X_{1N} = \frac{X_S}{C_1}; X_{2N} = \frac{X_S}{C_2}; X_{3N} = \frac{X_S}{C_3}$$

Công suất ngắn mạch

Công suất ngắn mạch S_{Nt} vào thời điểm t là đại lượng qui ước được tính theo dòng ngắn mạch I_{Nt} vào thời điểm t trong quá trình quá độ và điện áp trung bình U_{tb} của đoạn tính dòng ngắn mạch:

$$S_{Nt} = \sqrt{3} I_{Nt} \cdot U_{tb}$$

Công suất ngắn mạch dùng để chọn hay kiểm tra máy cắt, lúc đó t là thời điểm mà các tiếp điểm chính của máy cắt mở ra. Công suất này phải bé hơn công suất đặc trưng cho khả năng cắt của máy cắt hay còn gọi là công suất cắt định mức của máy cắt:

$$S_{Nt} < S_{Cdm} = \sqrt{3} I_{Cdm} \cdot U_{dm}$$

Ngoài ra, khi đã biết công suất ngắn mạch S_{NH} (hoặc dòng ngắn mạch I_{NH}) do hệ thống cung cấp cho điểm ngắn mạch có thể tính được điện kháng của hệ thống đối với điểm ngắn mạch:

$$X_H = \frac{U_{tb}}{\sqrt{3} \cdot I_{NH}} = \frac{U_{tb}^2}{S_{NH}}$$

khi tính toán trong hệ đơn vị tương đối với các lượng cơ bản S_{cb} và $U_{cb} = U_{tb}$ thì:

$$X_H = \frac{I_{cb}}{I_{NH}} = \frac{S_{cb}}{S_{NH}}$$

Quá trình quá độ trong mạch điện đơn giản
Quá trình quá độ trong mạch điện đơn giản

Nội dung

NGẮN MẠCH 3 PHA TRONG MẠCH ĐIỆN ĐƠN GIẢN:

Xét mạch điện 3 pha đối xứng đơn giản (hình 3.1) bao gồm điện trở, điện cảm tập trung và không có máy biến áp.

Qui ước mạch điện được cung cấp từ nguồn công suất vô cùng lớn (nghĩa là điện áp ở đầu cực nguồn điện không đổi về biên độ và tần số).

SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.

Hình 3.1 : Sơ đồ mạch điện 3 pha đơn giản

Lúc xảy ra ngắn mạch 3 pha, mạch điện tách thành 2 phần độc lập: mạch phía không nguồn và mạch phía có nguồn.

Mạch phía không nguồn:

Vì mạch đối xứng, ta có thể tách ra một pha để khảo sát. Phương trình vi phân viết cho một pha là:

$$u = i.r^{\odot} + L^{\odot} \cdot \frac{di}{dt} = 0$$

Giải ra ta được: $i = C \cdot e^{-\frac{r^{\odot}}{L^{\odot}}t}$

Từ điều kiện đầu ($t=0$): $i_0 = i_{0+}$, ta có: $C = i_0$

Như vậy: $i = i_0 \cdot e^{-\frac{r^{\odot}}{L^{\odot}}t}$

Dòng điện trong mạch phía không nguồn sẽ tắt dần cho đến lúc năng lượng tích lũy trong điện cảm L' tiêu tán hết trên r' .

Mạch phía có nguồn:

Giá thiết điện áp pha A của nguồn là:

$$u = u_A = U_m \sin(\omega t + \alpha)$$

Dòng trong mạch điện trước ngắn mạch là:

$$i = \frac{U_m}{Z} \sin(\omega t + \alpha - \varphi) = I_m \sin(\omega t + \alpha - \varphi)$$

Lúc xảy ra ngắn mạch 3 pha, ta có phương trình vi phân viết cho một pha:

$$u = i.R + L \frac{di}{dt}$$

Giải phương trình đối với pha A ta được:

$$i = \frac{U_m}{Z_N} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_N) + C.e^{-\frac{r}{L}t}$$

Dòng ngắn mạch gồm 2 thành phần: thành phần thứ 1 là dòng chu kỳ cưỡng bức có biên độ không đổi:

$$i_{ck} = \frac{U_m}{Z_N} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_N) = I_{ckm} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_N)$$

Thành phần thứ 2 là dòng tự do phi chu kỳ tắt dần với hằng số thời gian:

$$T_a = \frac{L}{r} = \frac{x}{rw}$$

$$i_{td} = C.e^{-\frac{r}{L}t} = i_{td0+}.e^{-\frac{r}{L}t}$$

Từ điều kiện đầu: $i_0 = i_{0+} = i_{ck0+} + i_{td0+}$, ta có:

$$C = i_{td0+} = i_0 - i_{ck0+} = I_m \sin(\alpha - \varphi) - I_{ckm} \sin(\alpha - \varphi_N)$$

SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.

Hình 3.2 : Đồ thị vectơ dòng và áp vào thời điểm đầu ngắn mạch

Trên hình 3.2 là đồ thị vectơ dòng và áp vào thời điểm đầu ngắn mạch trong đó $U_A, U_B, U_C, I_A, I_B, I_C$ là áp và dòng trước khi xảy ra ngắn mạch, còn $I_{ckA}, I_{ckB}, I_{ckC}$ là dòng chu kỳ cưỡng bức sau khi xảy ra ngắn mạch. Từ đồ thị, ta có những nhận xét sau:

- i_{td0+} bằng hình chiếu của vectơ $(\dot{I}_m - \dot{I}_{ckm})$ lên trục thời gian t .
- tùy thuộc vào α mà i_{td0+} có thể cực đại hoặc bằng 0.
- i_{td0+} phụ thuộc vào tình trạng mạch điện trước ngắn mạch; i_{td0+} đạt giá trị lớn nhất lúc mạch điện trước ngắn mạch có tính điện dung, rồi đến mạch điện trước ngắn mạch là không tải và i_{td0+} bé nhất lúc mạch điện trước ngắn mạch có tính điện cảm.

Thực tế hiếm khi mạch điện trước ngắn mạch có tính điện dung và đồng thời thường có $N \approx 90^\circ$, do vậy trong tính toán điều kiện để có tình trạng ngắn mạch nguy hiểm nhất là:

1. mạch điện trước ngắn mạch là không tải.
2. áp tức thời lúc ngắn mạch bằng 0 ($\alpha = 0$ hoặc 180°).

Trị hiệu dụng của dòng ngắn mạch toàn phần

và các thành phần của nó:

Thành phần chu kỳ của dòng ngắn mạch:

$$i_{ck} = I_{ckm} \sin(\omega t + \alpha - j_N)$$

- Nếu nguồn có công suất vô cùng lớn hoặc ngắn mạch ở xa máy phát ($U_m = \text{const.}$), thì:

$$I_{ckm} = \frac{U_m}{Z_N} = \text{const.}$$

Trong trường hợp này, biên độ dòng chu kỳ không thay đổi theo thời gian và bằng dòng ngắn mạch duy trì (xác lập).

- Nếu ngắn mạch gần, trong máy phát cũng xảy ra quá trình quá độ điện từ, sức điện động và cả điện kháng của máy phát cũng thay đổi, do đó biên độ của dòng chu kỳ thay đổi giảm dần theo thời gian đến trị số xác lập (hình 3.3).

Trị hiệu dụng của dòng chu kỳ ở thời điểm t là:

$$I_{ckt} = \frac{I_{ckmt}}{\sqrt{2}} = \frac{E_t}{\sqrt{3} \cdot Z_{NS}}$$

trong đó: E_t - sức điện động hiệu dụng của máy phát ở thời điểm t

Z_N - tổng trở ngắn mạch (trong mạng điện áp cao có thể coi $Z_N \approx x_N$)

SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.

Hình 3.3 : Đồ thị biến thiên dòng điện trong quá trình quá độ

Trị hiệu dụng của dòng chu kỳ trong chu kỳ đầu tiên sau khi xảy ra ngắn mạch gọi là dòng siêu quá độ ban đầu:

$$I_0 = \frac{\sqrt{3} \cdot (x_d' + x_{ng})}{x_d' + x_{ng} + x_{ng}}$$

$$I_0 = \frac{\sqrt{3} \cdot (x_d' + x_{ng})}{x_d' + x_{ng} + x_{ng}}$$

trong đó: E'' - sức điện động siêu quá độ ban đầu của máy phát.

x_d' - điện kháng siêu quá độ của máy phát.

x_{ng} - điện kháng bên ngoài từ đầu cực máy phát đến điểm ngắn mạch.

Thành phần tự do của dòng ngắn mạch:

Thành phần tự do của dòng ngắn mạch còn gọi là thành phần phi chu kỳ, tắt dần theo hằng số thời gian T_a của mạch:

$$i_{td} = i_{td0+} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}}$$

$$\text{với: } i_{td0+} = I_m \sin(\alpha - j) - I_{ckm0+} \sin(\alpha - j_N)$$

Khi tính toán với điều kiện nguy hiểm nhất, ta có:

1. mạch điện trước ngắn mạch là không tải: $I_m \sin(\alpha - j) = 0$
2. áp tức thời lúc ngắn mạch bằng 0 ($\alpha = 0$) và $N = 90^\circ$.

$$\text{thì: } i_{td0+} = -I_{ckm0+} \sin(-90^\circ) = I_{ckm0+}$$

Trị hiệu dụng của dòng tự do ở thời điểm t được lấy bằng trị số tức thời của nó tại thời điểm đó: $I_{tdt} = i_{tdt}$

Dòng ngắn mạch xung kích:

Dòng ngắn mạch xung kích i_{xk} là trị số tức thời của dòng ngắn mạch trong quá trình quá độ. Ứng với điều kiện nguy hiểm nhất, dòng ngắn mạch xung kích xuất hiện vào khoảng 1/2 chu kỳ sau khi ngắn mạch, tức là vào thời điểm $t = T/2 = 0,01\text{sec}$ (đối với mạng điện có tần số $f = 50\text{Hz}$).

$$i_{xk} = i_{ck0,01} + i_{td0,01}$$

trong đó: $i_{ck0,01} = I_{ckm0+}$

$$i_{td0,01} = i_{td0+} \cdot e^{-\frac{0,01}{T_a}} = I_{ckm0+} \cdot e^{-\frac{0,01}{T_a}}$$

$$i_{xk} = I_{ckm0+} \cdot (1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}) = k_{xk} \cdot I_{ckm0+}$$

Vậy:

$$= \sqrt{2} \cdot k_{xk} I_0$$

với k_{xk} : hệ số xung kích của dòng ngắn mạch, tùy thuộc vào T_a mà k_{xk} có giá trị khác nhau trong khoảng 1 – 2.

Trị hiệu dụng của dòng ngắn mạch toàn phần ở thời điểm t được tính như sau:

$$I_{Nt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t-\frac{T}{2}}^{t+\frac{T}{2}} i_N^2 \cdot dt} = \sqrt{I_{ckt}^2 + I_{tdt}^2}$$

Tương ứng, trị hiệu dụng của dòng ngắn mạch xung kích là:

$$I_{xk} = \sqrt{I_{ck0,01}^2 + I_{td0,01}^2}$$

với: $I_{ck0,01} = I_0$

$$I_{td0,01} = i_{td0,01} = i_{xk} - i_{ck0,01} = i_{xk} - I_{ckm0+}$$

$$= (k_{xk} - 1) I_{ckm0+} = \sqrt{2} (k_{xk} - 1) I_0$$

$$\text{Vậy: } I_{xk} = \sqrt{I_0^2 + 2 I_{ckm0+}^2 (k_{xk} - 1)^2}$$

hay :

$$I_{xk} = I_0 \sqrt{1 + 2(k_{xk} - 1)^2}$$

$$I_{xk} = I_0$$

NGẮN MẠCH 3 PHA TRONG MẠCH có máy biến áp:

SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.

Hình 3.4 : Sơ đồ mạch điện có máy biến áp

Giả thiết điện áp nguồn không đổi phát ($U_m = \text{const.}$) và mạch từ của máy biến áp không bão hòa. Khi xảy ra ngắn mạch 3 pha, ta lập phương trình vi phân cho một pha như sau (tất cả các tham số của máy biến áp được qui đổi về cùng một phía):

$$\text{Phía sơ cấp: } u = R_1 \cdot i_1 + L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} - M \cdot \frac{di_2}{dt}$$

$$\text{Phía thứ cấp: } 0 = R_2 \cdot i_2 + L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} - M \cdot \frac{di_1}{dt}$$

Khi bỏ qua dòng từ hóa của máy biến áp ($i_1 = 0$) thì $i_1 = i_2$.

Cộng 2 phương trình trên ta có:

$$u = (R_1 + R_2)i_1 + (L_1 + L_2 - 2M) \frac{di_1}{dt}$$

$$= R_B \cdot i_1 + L_B \frac{di_1}{dt}$$

trong đó: $R_B = R_1 + R_2$: là điện trở của máy biến áp.

$L_B = L_1 + L_2 - 2M = (L_1 - M) + (L_2 - M)$: là điện cảm của máy biến áp.

Phương trình trên giống như phương trình của mạch điện đơn giản đã khảo sát ở mục I trước đây. Do vậy trong quá trình quá độ khi bỏ qua dòng từ hóa, máy biến áp có thể được thay thế bằng điện trở và điện cảm để tính toán như mạch điện thông thường.

Tình trạng ngắn mạch duy trì

Tình trạng ngắn mạch duy trì là một giai đoạn của quá trình ngắn mạch khi tất cả các thành phần dòng tự do phát sinh ra tại thời điểm ban đầu của ngắn mạch đã tắt hết và khi đã hoàn toàn kết thúc việc tăng dòng kích từ do tác dụng của các thiết bị TĐK.

Nội dung:

Thông số tính toán của nguồn và phụ tải:

Các thông số cơ bản của máy điện đồng bộ trong tình trạng ngắn mạch đối xứng duy trì là điện kháng không bão hòa đồng bộ dọc trục xd và ngang trục xq.

Thay cho xd người ta có thể dùng một đại lượng là tỷ số ngắn mạch TN, đó chính là dòng duy trì tính trong đơn vị tương đối khi ngắn mạch 3 pha ở đầu cực máy điện với dòng kích từ tương đối $I_f = 1$:

$$TN = \frac{I_{(I_f=1)}}{I_{\text{nom}}}$$

Xuất phát từ điều kiện ngắn mạch ở đầu cực máy điện ta có:

$$x_d = \frac{C}{TN}$$

trong đó: C - sức điện động bão hòa tương đối của máy điện khi $I_f = 1$.

Trung bình có thể lấy các trị số như sau:

- Đối với máy phát turbine hơi: $C = 1,2$ và $TN = 0,7$

- Đối với máy phát turbine nước: $C = 1,06$ và $TN = 1,1$

Đối với máy điện cực lõi, điện kháng đồng bộ ngang trục xq rất ít phụ thuộc vào sự bão hòa, thực tế có thể coi nó là không đổi và bằng:

$$x_q = 0.6x_d$$

Trong tính toán gần đúng coi: $x_d = 1/TN$

Đối với máy điện có TĐK, thông số đặc trưng là dòng kích từ giới hạn I_{fgh} , khi dùng kích từ kiểu máy điện thì trị số tương đối của $I_{fgh} = (3 \div 5)$.

Ảnh hưởng của phụ tải và TĐK:

Ảnh hưởng của phụ tải:

Phụ tải một mặt làm cho máy phát mang tải trước ngắn mạch, nên trong tình trạng ngắn mạch duy trì máy phát có dòng kích từ lớn hơn so với máy phát làm việc ở chế độ không tải. Mặt khác, khi có phụ tải nối vào mạng, nó có thể làm thay đổi đáng kể trị số và sự phân bố dòng trong sơ đồ mạng.

Ví dụ trên sơ đồ hình 4.1, ta thấy phụ tải nối song song với nhánh ngắn mạch nên nó làm giảm điện kháng ngoài của máy phát, do vậy làm tăng dòng trong máy phát, làm giảm điện áp đầu cực máy phát và giảm dòng điện tại chỗ ngắn mạch. Ngắn mạch càng xa thì ảnh hưởng của phụ tải càng lớn, ngược lại khi ngắn mạch ngay tại đầu cực máy phát thì phụ tải không có tác dụng trong tình trạng ngắn mạch duy trì.

***SORRY, THIS
MEDIA TYPE IS
NOT
SUPPORTED.***
Hình 4.1

Nếu phụ tải bao gồm các hộ tiêu thụ tĩnh có tổng trở không đổi thì việc tính toán tổng trở của phụ tải không khó khăn gì. Tuy nhiên các phụ tải công nghiệp đa số là các động cơ không đồng bộ có tổng trở phụ thuộc rất nhiều vào độ trượt. Độ trượt lại phụ thuộc điện áp đặt vào động cơ,

mà trong tình trạng sự cố thì điện áp lại là một hàm của dòng điện phải tìm. Bởi vì các quan hệ tương hỗ này là không tuyến tính nên việc giải một bài toán như vậy gặp nhiều khó khăn.

Trong một hệ thống điện phức tạp, thực tế là không thể tính toán phụ tải một cách chính xác. Để đơn giản ta thay phụ tải bằng một tổng trở không đổi:

$$x_{PT} = 1,2$$

Ảnh hưởng của TĐK:

Khi ngắn mạch, TĐK làm tăng dòng kích từ của máy phát và trị số dòng, áp của máy phát sẽ luôn luôn lớn hơn so với khi không có TĐK. Mức độ tăng phụ thuộc vào vị trí điểm ngắn mạch và các thông số chính của máy phát.

Thực vậy, khi ngắn mạch xa, để khôi phục điện áp đến trị số định mức chỉ cần tăng dòng kích từ lên một ít, nhưng khi ngắn mạch càng gần thì cần phải tăng dòng kích từ lên càng hơn.

Nhưng dòng kích từ chỉ có thể tăng đến một trị số giới hạn I_{fgh} nào đó tương ứng với khi ngắn mạch sau một điện kháng tới hạn X_{th} .

Khi $x_N \leq X_{th}$ thì máy phát làm việc ở trạng thái kích từ giới hạn và dòng ngắn mạch là:

$$I = \frac{E_{qgh}}{x_d + x_N}$$

trong đó: E_{qgh} - sức điện động tương ứng với dòng kích từ giới hạn I_{fgh} .
Trong đơn vị tương đối thì: $E_{qgh}^* = I_{fgh}^*$

Khi $x_N > X_{th}$ thì máy phát làm việc ở trạng thái điện áp định mức và:

$$I = \frac{U_{\%om}}{x_N}$$

Khi $x_N = X_{th}$ thì: $\frac{U_{\%om}}{X_{th}} = \frac{E_{qgh}}{x_d + X_{th}} \Rightarrow X_{th} = x_d \frac{U_{\%om}}{E_{qgh} - U_{\%om}}$

$$d * \frac{1}{E_{qgh*}-1}$$

Trong đơn vị tương đối, chọn $U_{cb} = U_{đm}$ thì: $X_{th*} = x$

và dòng ngắn mạch là: $I = I_{th} = \frac{U_{\%om}}{X_{th}}$

Bảng 4.1: CÁC QUAN HỆ ĐẶC TRƯNG CHO TRẠNG THÁI CỦA MÁY PHÁT CÓ TĐK

Trạng thái kích từ giới hạn	Trạng thái điện áp định mức
$x_N \quad X_{th}$	$x_N \quad X_{th}$
$I_f = I_{fgh} ; E_q = E_{qgh}$	$I_f \quad I_{fgh} ; E_q \quad E_{qgh}$
$U \quad U_{đm}$	$U = U_{đm}$
$I = \frac{E_{qgh}}{x_d + x_N} \approx I_{th}$	$I = \frac{U_{\%om}}{x_N} \leq I_{th}$

Quá trình quá độ trong máy điện
Quá trình quá độ trong máy điện

Nội dung:

Khái niệm chung:

Quá trình quá độ trong máy điện xảy ra phức tạp hơn trong máy biến áp hay các thiết bị tĩnh khác do tính chất chuyển động của nó. Do vậy nếu kể đến tất cả các yếu tố ảnh hưởng thì việc nghiên cứu sẽ vô cùng khó khăn và phức tạp. Để đơn giản người ta đưa ra nhiều giả thiết gán cho máy điện một số tính chất “lý tưởng hóa”. Dĩ nhiên kết quả sẽ có sai số, nhưng so sánh với các số liệu thực nghiệm thường sai số nằm trong phạm vi cho phép.

Việc nghiên cứu vào thời điểm đầu của quá trình quá độ dựa trên nguyên lý từ thông móc vòng không đổi và để đơn giản chỉ xét trên một pha của máy điện, các cuộn dây stato và rôto xem như chỉ có một vòng dây, lúc đó từ thông trong mạch từ cũng chính là từ thông móc vòng. Qui ước chọn hệ trục tọa độ trong máy điện như sau (hình 5.1):

***SORRY, THIS
MEDIA TYPE IS
NOT
SUPPORTED.***
Hình 5.1

Các trục tọa độ d , q giá theo dọc trục và ngang trục của rôto.

Thành phần dọc trục của dòng stato dương khi sức từ động do nó tạo nên cùng chiều với sức từ động của cuộn kích từ.

Thành phần ngang trục của dòng stato dương khi sức từ động do nó tạo nên chậm 90° so với sức từ động của cuộn kích từ.

Các loại từ thông trong máy điện:

Từ thông toàn phần của cuộn kích từ: $\dot{Y}_f = \dot{I}_f \cdot X_f$

trong đó: X_f - điện kháng của cuộn kích từ.

- Từ thông hữu ích: $\dot{Y}_d = \dot{I}_f \cdot X_{ad}$

trong đó: X_{ad} - điện kháng hỗ cảm giữa các cuộn dây stato và rôto, được gọi là điện kháng phản ứng phần ứng dọc trục.

- Từ thông tản: $\dot{Y}_{sf} = \dot{I}_f \cdot X_{sf}$

trong đó: X_{sf} - điện kháng tản của cuộn kích từ.

Như vậy: $\dot{Y}_f = \dot{Y}_d + \dot{Y}_{sf}$ và " $X_f = X_{ad} + X_{sf}$ "

Hệ số tản của cuộn kích từ: $s_f = \frac{\dot{Y}_{sf}}{\dot{Y}_f} = \frac{X_{sf}}{X_f}$

Từ thông phần ứng: - Từ thông phản ứng
phần ứng: dọc trục: $\dot{Y}_{ad} = \dot{I}_d \cdot X_{ad}$ ngang trục:
 $\dot{Y}_{aq} = \dot{I}_q \cdot X_{aq}$ - Từ thông tản: dọc trục:
 $\dot{Y}_d = \dot{I}_d \cdot X_s$ ngang trục: $\dot{Y}_q = \dot{I}_q \cdot X_s$ toàn
phần: $\dot{Y}_s = \dot{I} \cdot X_s$ trong đó: $I = \sqrt{I_d^2 + I_q^2}$

***SORRY, THIS
MEDIA TYPE IS
NOT
SUPPORTED.***
Hình 5.2

Từ thông tổng hợp móc vòng với cuộn kích từ: (chỉ có theo trục dọc)

$$\dot{Y}_{fS} = \dot{Y}_f + \dot{Y}_{ad} = \dot{I}_f \cdot X_f + \dot{I}_d \cdot X_{ad}$$

Từ thông tổng hợp móc vòng với cuộn stato:

- dọc trục:

$$\dot{Y}_{sd} = \dot{Y}_d + \dot{Y}_{ad} + \dot{Y}_{sd} = \dot{I}_f \cdot X_{ad} + (X_{ad} + X_s) = \dot{I}_f \cdot X_{ad} + \dot{I}_d \cdot X_d$$

- ngang trục:

$$\dot{Y}_{sq} = 0 + \dot{Y}_{aq} + \dot{Y}_{sq} = \dot{I}_q \cdot (X_{aq} + X_s) = \dot{I}_q \cdot X_q$$

Từ thông kể hở không khí dọc trục:

$$\dot{Y}_{dd} = \dot{Y}_d + \dot{Y}_{ad} = \dot{I}_f \cdot X_{ad} + \dot{I}_d \cdot X_{ad} = (\dot{I}_f + \dot{I}_d) X_{ad}$$

Từ thông cuộn cân:

- Cuộn cân dọc:

$$\text{từ thông chính: } \dot{Y}_{1d} = \dot{I}_{1d} \cdot X_{ad}$$

$$\text{từ thông tản: } \dot{Y}_{s1d} = \dot{I}_{1d} \cdot X_{s1d}$$

- Cuộn cân ngang:

$$\text{từ thông chính: } \dot{Y}_{1q} = \dot{I}_{1q} \cdot X_{aq}$$

$$\text{từ thông tản: } \dot{Y}_{s1q} = \dot{I}_{1q} \cdot X_{s1q}$$

Sức điện động và điện kháng quá độ:

Sức điện động và điện kháng quá độ là những tham số đặc trưng cho máy phát điện không có cuộn cân vào thời điểm đầu của quá trình ngắn mạch.

Khi ngắn mạch, từ thông ϕ_{ad} tăng đột ngột một lượng $\Delta \phi_{ad}$ (hình 5.3). Theo định luật Lenx, độ tăng $\Delta \phi_{ad}$ sẽ làm cho i_f tăng lên một lượng

fo+ sao cho tổng từ thông móc vòng là không đổi.

$$D\dot{Y}_{fS} = D\dot{Y}_{fo+} + D\dot{Y}_{ado+} = 0$$

Do ϕ tăng nên ϕ cũng tăng một lượng tỷ lệ vì:

$$\dot{Y}_{sf} = s_f \cdot \dot{Y}_f$$

và từ thông kể hở không khí cũng giảm xuống vì:

$$F_{dd} = F_{fS} - F_{sf}$$

Điều này chứng tỏ ϕ , ϕ và sức điện động E_q , E tương ứng của máy phát thay đổi đột biến vào thời điểm đầu của ngắn mạch nên không thể sử dụng các tham số này để thay thế cho máy phát vào thời điểm đầu của ngắn mạch.

SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.

Hình 5.3

Để đặc trưng cho máy phát trong tính toán ta sử dụng từ thông không đột biến lúc ngắn mạch là ϕ , trong đó phần xem như móc vòng với cuộn dây stato là:

$$\dot{Y}_d' = (1 - s_f) \dot{Y}_{fS}$$

ϕ_d' được gọi là từ thông quá độ dọc trục.

$$\begin{aligned} \dot{Y}_d' &= \left(1 - \frac{X_{sf}}{X_{sf} + X_{ad}}\right) (\dot{Y}_f + \dot{Y}_{ad}) = \frac{X_{ad}}{X_{sf} + X_{ad}} \left[\dot{I}_f (X_{sf} + X_{ad}) + \dot{I}_d X_{ad} \right] \\ &= \dot{I}_f X_{ad} + \dot{I}_d \frac{X_{ad}^2}{X_{sf} + X_{ad}} \end{aligned}$$

Từ thông móc vòng này ứng với sức điện động E_q' được gọi là sức điện động quá độ:

$$\dot{E}'_q = \dot{E}_q - j\dot{I}_d \frac{X_{ad}^2}{X_{sf} + X_{ad}} = \dot{U}_q + j\dot{I}_d \left(x_d - \frac{X_{ad}^2}{X_{sf} + X_{ad}} \right) = \dot{U}_q + j\dot{I}_d x'_d$$

x'_d được gọi là điện kháng quá độ dọc trục.

$$x'_d = x_d - \frac{X_{ad}^2}{X_{sf} + X_{ad}} = X_s + \frac{X_{sf} \cdot X_{ad}}{X_{sf} + X_{ad}}$$

Đối với máy phát không có cuộn cản ngang trục, từ thông phản ứng phần ứng ngang trục Φ_q trong quá trình quá độ có thể đột biến. Sự đột biến của từ thông này có thể xem như là điện áp rơi do dòng I_q trên điện kháng x_q , nghĩa là: $E_d' = 0$; $x_q' = x_q$. Tóm lại, nếu máy điện không có cuộn cản thì ở thời điểm đầu ngắn mạch có thể thay thế bằng E_q' và x'_d . Dòng quá độ ở thời điểm đầu ngắn mạch chỉ có thành phần dọc trục:

SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.
Hình 5.4

$$I_o' = I_{do}' = \frac{E_q'}{x_d' + x_{ng}}$$

trong đó: x_{ng} - điện kháng từ đầu cực máy điện đến điểm ngắn mạch.

Sức điện động và điện kháng siêu quá độ:

Sức điện động và điện kháng siêu quá độ là những tham số đặc trưng cho máy phát điện có cuộn cản vào thời điểm đầu của quá trình ngắn mạch.

Xét một máy điện có các cuộn cản dọc trục và ngang trục, giả thiết cuộn kích từ và cuộn cản dọc trục là như nhau nên cả 2 đều liên hệ với cuộn dây stato bởi từ thông hổ cảm chung Φ_{ad} được xác định bởi X_{ad} .

Khi có một lượng tăng đột ngột từ thông Φ_{ad} , ở rôto sẽ có thay đổi tương ứng từ thông của cuộn kích từ Φ_f và của cuộn cảm dọc trục Φ_{1d} sao cho tổng từ thông móc vòng không đổi, do vậy:

- Đối với cuộn kích từ: $D\dot{Y}_f + D\dot{Y}_{1d} + D\dot{Y}_{ad} = 0$

$$D\dot{I}_f(X_{sf} + X_{ad}) + D\dot{I}_{1d}X_{ad} + D\dot{I}_dX_{ad} = 0 \quad (5.1)$$

- Đối với cuộn cảm dọc: $D\dot{Y}_{1d} + D\dot{Y}_{s1d} + D\dot{Y}_d + D\dot{Y}_{ad} = 0$

$$D\dot{I}_{1d}(X_{s1d} + X_{ad}) + D\dot{I}_fX_{ad} + D\dot{I}_dX_{ad} = 0 \quad (5.2)$$

$$\text{Từ (5.1) và (5.2) ta có: } D\dot{I}_fX_{sf} = D\dot{I}_{1d}X_{s1d} \quad (5.3)$$

Từ (5.3) thấy rằng lượng tăng Φ_{1d} tạo ra ở 2 cuộn kích từ và cuộn cảm dọc các dòng điện tăng cùng chiều nhưng độ lớn tỷ lệ nghịch điện kháng tản của chúng.

Thay thế phản ứng của 2 cuộn dây ở rôto tại thời điểm đầu của ngắn mạch bằng phản ứng của một cuộn dây tương đương dọc trục có dòng bằng:

$$D\dot{I}_{rd} = D\dot{I}_f + D\dot{I}_{1d}$$

và điện kháng tản X_{rd} với điều kiện vẫn thỏa mãn nguyên lý từ thông móc vòng không đổi, tức là:

$$D\dot{Y}_{rd} + D\dot{Y}_{srd} + D\dot{Y}_{ad} = 0$$

$$\Rightarrow D\dot{I}_{rd}(X_{srd} + X_{ad}) + D\dot{I}_dX_{ad} = 0$$

$$\Rightarrow (D\dot{I}_f + D\dot{I}_{1d})(X_{srd} + X_{ad}) + D\dot{I}_dX_{ad} = 0 \quad (5.4)$$

Giải các phương trình (5.2), (5.3) và (5.4) ta được:

$$X_{srd} = \frac{X_{sf} \cdot X_{sld}}{X_{sf} + X_{sld}}$$

Như vậy điện kháng tản của cuộn dây tương đương với cuộn kích từ và cuộn cảm dọc bằng điện kháng tản của 2 cuộn dây này ghép song song.

Để tìm điện kháng đặc trưng cho máy điện theo trục dọc ở thời điểm đầu của ngắn mạch, ta thực hiện tính toán tương tự như mục III (đối với máy điện không có cuộn cảm) trong đó thay cuộn kích từ có X_f bằng cuộn dây tương đương có X_{rd} và ta cũng tìm được:

$$x_d'' = x_d - \frac{X_{ad}^2}{X_{srd} + X_{ad}} = X_s + \frac{1}{\frac{1}{X_{sf}} + \frac{1}{X_{sld}} + \frac{1}{X_{ad}}}$$

x_d'' được gọi là điện kháng siêu quá độ dọc trục.

Tương tự cho trục ngang, ta cũng có điện kháng siêu quá độ ngang trục:

$$x_q'' = x_q - \frac{X_{aq}^2}{X_{sld} + X_{aq}} = X_s + \frac{X_{sld} \cdot X_{aq}}{X_{sld} + X_{aq}}$$

Các sức điện động tương ứng với các điện kháng trên được gọi là sức điện động siêu quá độ ngang trục E_q'' và dọc trục E_d'' , chúng có giá trị không đột biến vào thời điểm đầu ngắn mạch.

$$\dot{E}_q'' = \dot{U}_{qo} + j\dot{I}_{do} \cdot x_d''$$

$$\dot{E}_d'' = \dot{U}_{do} + j\dot{I}_{qo} \cdot x_q''$$

I_{qo} , I_{do} - áp và dòng trước ngắn mạch.

$$E_o'' = \sqrt{E_q''^2 + E_d''^2} - \text{sức điện động siêu quá độ toàn phần.}$$

***SORRY, THIS
MEDIA TYPE IS
NOT
SUPPORTED.***
Hình 5.5

Vậy máy phát ở thời điểm đầu ngắn mạch có thể đặc trưng bằng sức điện động siêu quá độ và điện kháng siêu quá độ.

Giá trị dòng siêu quá độ dọc trục và ngang trục tương ứng là:

$$I_d'' = \frac{E_q''}{x_d'' + x_{ng}}$$

$$I_q'' = \frac{E_d''}{x_q'' + x_{ng}}$$

Và dòng siêu quá độ toàn phần là: $I_o'' = \sqrt{I_d''^2 + I_q''^2}$

Trong tính toán thực dụng gần đúng xem $x_d'' = x_q''$ ta có:

$$E_o'' = \sqrt{(U \cos j)^2 + (U \sin j + I \cdot x_d'')^2}$$

$$\text{hay: } E_o'' = \sqrt{(U + I \cdot x_d'' \sin j)^2 + (I \cdot x_d'' \cos j)^2}$$

Ý nghĩa vật lý của các điện kháng:

Từ các biểu thức tính toán điện kháng ta thấy: $x_d'' < x_d' < x_d$

Về mặt vật lý điều đó được giải thích như sau: Trong chế độ bình thường từ thông tạo bởi dòng stato gồm một phần móc vòng theo đường tản từ, còn phần chính đi ngang kẻ hở không khí khép vòng qua các cực và thân rôto. Vì từ trở chủ yếu là ở kẻ hở không khí có từ dẫn λ_d nhỏ (hình 5.6a), từ cảm lớn; do vậy tương ứng với điện kháng x_d .

Khi từ thông stato thay đổi đột ngột, trong cuộn kích từ sẽ có dòng cảm ứng tạo nên từ thông ngược hướng với từ thông stato, vì vậy có thể xem như một phần từ thông stato bị đẩy ra ngoài đi theo đường tản từ của cuộn kích từ có từ dẫn λ_f (hình 5.6b). Như vậy từ thông stato phải đi qua một tổng từ dẫn lớn, từ cảm sẽ nhỏ hơn và sẽ có: $x_d' < x_d$

SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.

Hình 5.6

Rôto càng có nhiều mạch vòng kín, từ thông stato càng khó xâm nhập vào rôto. Trường hợp giới hạn, khi từ thông hoàn toàn không thể đi vào rôto, nghĩa là chỉ đi theo đường tản từ của cuộn dây stato có từ dẫn , điện kháng của stato lúc đó chính là điện kháng tản X , tương ứng với trường hợp x_d'' nhỏ nhất có thể có.

Đối với các máy điện không có cuộn cản, bản thân rôto cũng có tác dụng như cuộn cản nên có thể xem: $x_d'' = (0,75 \div 0,9) x_d'$

Quá trình quá độ trong máy điện không cuộn cản:

Để đơn giản trước tiên ta khảo sát các máy điện không có thiết bị TĐK. Giả thiết ngắn mạch tại đầu cực của máy điện, mạch điện xem như thuần kháng, dòng ngắn mạch chỉ có theo trục dọc.

Khi xảy ra ngắn mạch, thành phần chu kỳ của dòng ngắn mạch sẽ thay đổi đột biến. Độ tăng là:

$$DI_d = I_{do+}' - I_{do} = \frac{E_{qo+}'}{x_d} - I_{do}$$

trong đó: I_{do} - dòng làm việc trước ngắn mạch.

I_{do+}' - dòng quá độ tại thời điểm đầu ngắn mạch.

Để từ thông móc vòng không đổi, dòng kích từ I_f cần phải tăng một lượng:

$$DI_f = DI_d \frac{X_{ad}}{X_{ad} + X_{sf}}$$

Do cuộn kích từ có điện trở r_f nên trị số này sẽ suy giảm theo hằng số thời gian T_d' của cuộn kích từ và I_f chính là trị số ban đầu của thành phần tự do không chu kỳ i_{fTd} của dòng kích từ (hình 5.7):

$$i_{ftd} = i_{ftdo+} \cdot e^{-\frac{t}{T_d'}} = DI_f \cdot e^{-\frac{t}{T_d'}}$$

Dòng iftd tạo nên sức điện động Eq trong cuộn dây stato và làm xuất hiện thành phần tự do chu kỳ i'ck trong dòng stato với trị hiệu dụng ban đầu là:

$$DI_{ck}' = DI_d' = I_{do+}' - I_{d\forall}$$

$I_d = I_N$: dòng ngắn mạch xác lập ứng với sức điện động đồng bộ ngang trục Eq do dòng kích từ cưỡng bức $I_{fo} = I_f$ tạo ra.

Như vậy, thành phần chu kỳ cơ bản của dòng ngắn mạch gồm 2 thành phần:

tự do chu kỳ i'ck do dòng tự do của cuộn kích từ iftd sinh ra và do đó cũng tắt dần theo hằng số thời gian T_d' .

chu kỳ cưỡng bức ick do dòng kích từ cưỡng bức $I_{fo} = I_f$ tạo ra.

$i'ck = ick + i'ck$ gọi là dòng ngắn mạch quá độ và có trị hiệu dụng ban đầu là I'_{do+} .

Do dòng chu kỳ tăng so với trước khi ngắn mạch nên trong cuộn dây stato xuất hiện thành phần tự do không chu kỳ itd sao cho dòng ngắn mạch toàn phần ở thời điểm đầu ngắn mạch là không đột biến. Dòng này tắt dần theo hằng số thời gian T_a của mạch stato:

$$i_{td} = i_{tdo+} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} = -DI_d \cdot e^{-\frac{t}{T_a}}$$

Dòng itd tạo từ thông đứng yên đối với stato, do đó sẽ cảm ứng sang rôto thành phần tự do chu kỳ ifck trong dòng kích từ. Vì dòng kích từ if ở thời điểm đầu ngắn mạch không đột biến nên trị số ban đầu của các thành phần trong dòng kích từ phải thỏa mãn: $ifck_{o+} = -iftd_{o+} = -I_f$

Dòng ifck tắt dần theo hằng số thời gian T_a vì dòng itd ở stato sinh ra nó tắt dần theo hằng số thời gian T_a .

Hình 5.7

Dòng i_{fck} sinh ra từ trường đập mạch ở rôto nên có thể phân ra thành 2 từ trường quay ngược chiều nhau:

- Từ trường quay ngược chiều với rôto (-) sẽ đứng yên so với stato nên không cảm ứng sang stato.

- Từ trường quay cùng chiều với rôto (+) sẽ quay với tốc độ 2 so với stato và cảm ứng sang stato tạo nên dòng tự do chu kỳ $i_{ck}(2)$ có tần số 2 . Dòng này tắt dần theo hằng số thời gian T_a .

Tóm lại:

Dòng trong cuộn dây stato là:

$$i_N = i_{ck} + i'_{ck} - i_{td} - i_{ck}(2) = i'_{ck} - i_{td} - i_{ck}(2)$$

Dòng trong cuộn dây kích từ là:

$$i_f = I_{fo} + i_{f_{td}} - i_{f_{ck}}$$

Quá trình quá độ trong máy điện có cuộn cản:

Khi từ thông phản ứng phần ứng thay đổi, trong cuộn cản cũng cảm ứng nên một dòng tự do không chu kỳ tương tự như trong cuộn kích từ. Dòng này lại tác dụng lên cuộn dây stato và cuộn cản trong quá trình quá độ.

Dòng trong cuộn dây stato:

Ngoài các thành phần dòng điện giống như ở máy điện không cuộn cản, trong cuộn dây stato của máy điện có cuộn cản còn bao gồm:

Thành phần siêu quá độ tự do dọc trục i'_{ck} do dòng tự do trong cuộn cản dọc trục sinh ra, do đó nó tắt dần theo hằng số thời gian $T'_{d\alpha}$ của cuộn cản dọc trục. Như vậy thành phần chu kỳ dọc trục gồm:

$$i''_{ck} = i_{ck} + i'_{ck} + i''_{ck} = i'_{ck} + i''_{ck}$$

i''_{ck} gọi là dòng ngắn mạch siêu quá độ dọc trục, có trị hiệu dụng ban đầu là:

$$\} \} \} \} \} \{ \}$$

$$\begin{matrix} x_d \\ I_{do+} \} \} = \{ \{ E \text{ rSub } \{ \text{size } 8\{q\} \} \text{ rSup } \{ \text{size } 8\{ \end{matrix}$$

Do T''_d bé nên dòng trong cuộn cản và dòng i''_{ck} tắt nhanh hơn dòng i'_{ck} do cuộn kích từ sinh ra.

Thành phần siêu quá độ tự do ngang trục i''_q do dòng tự do trong cuộn cản ngang trục sinh ra, do đó nó tắt dần theo hằng số thời gian T''_q của cuộn cản ngang trục và có trị hiệu dụng ban đầu là:

$$\} \} \} \} \} \{ \}$$

$$\begin{matrix} x_q \\ I_{qo+} \} \} = \{ \{ E \text{ rSub } \{ \text{size } 8\{d\} \} \text{ rSup } \{ \text{size } 8\{ \end{matrix}$$

Vậy dòng ngắn mạch toàn phần của máy điện có cuộn cản:

$$i_N = i_{ck} + i'_{ck} + i''_{ck} + i''_q - i_{td} - i_{ck}(2)$$

Trị hiệu dụng của dòng siêu quá độ ban đầu là:

$$2 \} \} \} \} \{ \}$$

$$I_o \} \} = \sqrt{I \text{ rSub } \{ \text{size } 8\{ \textit{do} + \{ \} \} \text{ rSup } \{ \text{size } 8\{2} + I_{qo+}$$

} } } } }

Trong tính toán gần đúng, khi coi $x_d = x_q$ thì:

$$\underline{I_o} = \{ \{ E_{rSub} \} \} rSup \{ \}$$

Dòng trong cuộn kích từ:

Vẫn gồm các thành phần như ở máy điện không cuộn cảm nhưng thành phần tự do không chu kỳ có khác do ảnh hưởng của cuộn cảm.

$$i_{ftd} = i_{ftd}(KCC) - i''_f$$

$i_{ftd}(KCC)$: thành phần tự do không chu kỳ xuất hiện trong máy điện không cuộn cảm.

i''_f : thành phần tự do không chu kỳ do ảnh hưởng của cuộn cảm, tắt theo hằng số thời gian T''_d .

Dòng trong cuộn cảm:

Trong chế độ làm việc bình thường hoặc khi ngắn mạch duy trì, qua cuộn cảm không có dòng điện. Trong quá trình quá độ, ở cuộn cảm dọc trục xuất hiện dòng tự do không chu kỳ tắt dần theo 2 hằng số thời gian T''_d và T'_d . Đồng thời dưới tác dụng của dòng tự do trong cuộn dây stato, ở cuộn cảm sẽ có thành phần chu kỳ i_{1dck} tắt dần theo hằng số thời gian T_a sao cho dòng trong cuộn cảm không đột biến.

$$i_{1d} = i_{1dtd} + i_{1dck}$$

Trong cuộn cảm ngang trục cũng xuất hiện các thành phần dòng tương tự.

Đối với máy phát turbine hơi không có cuộn cảm, lõi thép cũng được xem như có tác dụng tương tự cuộn cảm. Do vậy trong quá trình quá độ, diễn

biến dòng trong cuộn dây stato và rôto có dạng giống như đối với các máy điện có cuộn cản. Và trong tính toán vẫn dùng những tham số siêu quá độ để thay thế tại thời điểm đầu ngắn mạch.

Các hằng số thời gian tắt dần:

Do trong mạch có điện trở tác dụng nên các thành phần dòng tự do sẽ tắt dần với hằng số thời gian $T = L/r$. Trong hệ đơn vị tương đối thì:

$$T = \frac{L}{r} = \frac{X}{r} = \frac{X}{r}$$

Hằng số thời gian của cuộn dây stato:

$$T_a = \frac{X_2}{r_{st}} \text{ trong đó: } X_2 - \text{điện kháng thứ tự nghịch của máy điện}$$

Nếu ngắn mạch cách máy điện một đoạn có tổng trở $Z = r + jx$ thì:

$$T_a = \frac{X_2 + x}{r_{st} + r}$$

Hằng số thời gian của cuộn kích từ:

$$\text{Khi máy phát không tải: } T_{fo} = \frac{X_f}{r_f} = \frac{X_{ad} + X_{sf}}{r_f}$$

Khi ngắn mạch ngay tại đầu cực máy phát:

$$T_f' = T_d' = \frac{X_{sf} + \frac{X_s \cdot X_{ad}}{X_s + X_{ad}}}{r_f} = \frac{X_f'}{r_f}$$

$$\text{Có thể chứng minh được rằng: } T_d' = T_{fo} \frac{X_f'}{X_f} = T_{fo} \frac{x_d'}{x_d}$$

trong đó: X_f' - điện kháng của cuộn kích từ khi nối tắt cuộn dây stato.

Nếu ngắn mạch cách máy phát một đoạn có điện kháng bằng x thì:

$$T_d' = T_{fo} \frac{x_d' + x}{x_d + x}$$

Hằng số thời gian của cuộn cản:

Hằng số thời gian của cuộn cản dọc T_d'' và cuộn cản ngang T_q'' cũng phụ thuộc vào khoảng cách đến điểm ngắn mạch. Có thể lấy các trị số trung bình như sau: - Máy phát turbine hơi: $T_d'' = T_q'' = 0,1$ sec.

- Máy phát turbine nước: $T_d'' = T_q'' = 0,05$ sec.

Ảnh hưởng của TĐK và phụ tải đến quá trình ngắn mạch:

Ảnh hưởng của TĐK:

Tại thời điểm đầu của ngắn mạch, vì từ thông móc vòng với các cuộn dây là không đổi nên thiết bị TĐK không có ảnh hưởng. Điều đó cho phép tính toán các tham số ở thời điểm đầu của ngắn mạch (chẳng hạn như I_0'' , E_0'' , i_{xk}) giống như đối với các máy điện không có TĐK.

Trong khoảng thời gian tiếp theo của quá trình quá độ, TĐK làm tăng dòng kích từ và do đó làm tăng các thành phần dòng trong cuộn dây stato và cuộn cản dọc. Quá trình này diễn ra chậm, do vậy thực tế nó chỉ làm thay đổi sức điện động quay của stato và thành phần chu kỳ của dòng stato. Thành phần không chu kỳ và sóng điều hòa bậc 2 ở stato vẫn giống như khi không có TĐK.

Đối với cuộn cản dọc, dòng sinh ra trong nó là do sức điện động biến áp, sức điện động này nhỏ vì dòng kích từ biến đổi chậm. Do vậy dòng tự do có bị giảm xuống nhưng không đáng kể.

Ảnh hưởng của phụ tải:

Ảnh hưởng của phụ tải ở thời điểm đầu của ngắn mạch phụ thuộc vào điện áp dư tại điểm nối phụ tải, tức phụ thuộc vào điện kháng x_N từ phụ tải cho đến điểm ngắn mạch.

Khi $x_N < 0,4$: phụ tải xem như nguồn cung cấp làm tăng dòng ngắn mạch.

Khi $x_N > 0,4$: phụ tải tiêu thụ dòng điện làm giảm dòng ngắn mạch.

Khi $x_N = 0$ thì dòng phụ tải chiếm khoảng 25% dòng ngắn mạch.

Trong tính toán thực tế, các phụ tải được gộp chung thành phụ tải tổng hợp ở một điểm của hệ thống điện và được thay thế gần đúng bằng:

$$X''_{PT} = 0,35 \text{ và } E''_{PT} = 0,8$$

Chỉ kể đến một cách riêng rẽ các động cơ cỡ lớn và được thay thế như sau:

- Các động cơ đồng bộ có cấu tạo giống như máy phát. Ở thời điểm đầu của ngắn mạch, động cơ đang quay theo quán tính xem như vẫn còn tốc độ đồng bộ nên có thể thay thế bằng các tham số giống như đối với máy phát là E_o'' và x_d'' .

- Các động cơ không đồng bộ với hệ số trượt bé xem như là động cơ đồng bộ không có cuộn kích từ, cũng được thay thế bằng sức điện động và điện kháng siêu quá độ:

$$E_o'' = U_o - I_o \cdot X'' \cdot \sin j_o$$
$$X'' = x_{\text{Sub}} + \frac{1}{\frac{1}{x_{\text{mm}}} - 0,35} = (0,25, 0,35)$$

trong đó: I_{mm} - dòng mở máy của động cơ.

U_o, I_o, θ - tham số của động cơ trước khi xảy ra ngắn mạch.

Các phương pháp tính toán ngắn mạch

Các phương pháp tính toán ngắn mạch

Khái niệm chung:

Phương pháp tính dòng ngắn mạch bằng cách giải hệ phương trình vi phân đòi hỏi nhiều công sức, mặc dù chính xác nhưng ngay cả để tính một sơ đồ đơn giản khối lượng tính toán cũng khá cồng kềnh, bậc phương trình tăng nhanh theo số máy điện có trong sơ đồ. Ngoài ra còn có những vấn đề làm phức tạp thêm quá trình tính toán như: dao động công suất, dòng tự do trong các máy điện ảnh hưởng nhau, tác dụng của thiết bị tự động điều chỉnh kích từ (TĐK), tham số dọc trục và ngang trục khác nhau.... Do đó, trong thực tế thường dùng các phương pháp thực dụng cho phép tính toán đơn giản hơn.

Ngoài các giả thiết cơ bản đã nêu trước đây, còn có thêm những giả thiết sau:

- Qui luật biến thiên thành phần chu kỳ của dòng ngắn mạch trong sơ đồ có một máy phát tương tự như trong sơ đồ có nhiều máy phát.
- Việc xét đến thành phần không chu kỳ của dòng ngắn mạch trong tất cả các trường hợp có thể tiến hành một cách gần đúng.
- Rôto của các máy điện đồng bộ là đối xứng do đó không cần phân biệt sức điện động, điện áp, dòng điện theo các trục và có thể bỏ qua thành phần chu kỳ 2.

Tùy mục đích tính toán có thể sử dụng các phương pháp khác nhau với sai số không được vượt quá phạm vi cho phép 5% đối với trị số ban đầu và 10-15% ở các thời điểm khác.

Phương pháp giải tích:

Tính dòng siêu quá độ ban đầu:

Trình tự tính toán như sau:

a) Lập sơ đồ thay thế, tính toán qui đổi tham số của các phần tử trong hệ đơn vị có tên hay đơn vị tương đối:

- Máy phát: thay thế bằng E''_o và $X'' = x''_d = x''_q$, đối với máy phát không có cuộn cần xem rôto như cuộn cần tự nhiên, tức là cũng dùng các thông số siêu quá độ để tính toán với $x''_d = (0,75 \div 0,9) x'_d$.

Sức điện động E''_o được tính theo công thức gần đúng với giả thiết máy phát làm việc ở chế độ định mức trước khi ngắn mạch:

$$E''_o = \sqrt{(U_{\text{rSub}} \sin \delta + I_{\text{rSub}} x''_d)^2 + (U_{\text{rSub}} \cos \delta + I_{\text{rSub}} x''_q)^2}$$

Nếu máy phát làm việc ở chế độ không tải trước khi ngắn mạch thì $E''_o = U_F$.

- Động cơ và máy bù đồng bộ được tính như máy phát.

- Động cơ không đồng bộ và phụ tải tổng hợp thay thế bằng:

$$X^* = X_{\text{rSub}}^* = \{ \{1\} \text{ over } \{I_{\text{rSub}}^* \text{ mm}\} \} \}$$

$$X$$

$$\text{và: } E''_o = U_o - I_o X'' \sin \alpha$$

trong đó: $X^* N$ - điện kháng ngắn mạch (lúc động cơ bị hãm).

I*mm - dòng mở máy của động cơ.

Uo, Io, sin o - được lấy ở tình trạng trước ngắn mạch.

Khi không có đủ số liệu cần thiết có thể tra bảng sau:

THIẾT BỊ	X”	E”o
Máy phát turbine hơi	0,125	1,08
Máy phát turbine nước có cuộn cản	0,2	1,13
Máy phát turbine nước không cuộn cản	0,27	1,18
Động cơ đồng bộ	0,2	1,1
Máy bù đồng bộ	0,2	1,2
Động cơ không đồng bộ	0,2	0,9
Phụ tải tổng hợp	0,35	0,8

b) Tính toán: Biến đổi sơ đồ thành dạng đơn giản gồm một hay nhiều nhánh nối trực tiếp từ nguồn đến điểm ngắn mạch (hình 6.1), từ đó tính được dòng siêu quá độ ban đầu theo biểu thức sau:

<div>$I_o = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{X_{\Sigma}}$<p>c) Chú ý: Trong thực tế, việc tính toán dòng siêu quá độ ban đầu thường chỉ xét đến những phụ tải nối trực tiếp vào điểm ngắn mạch.</p></div>	<p>***SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.*** Hình 6.1</p>
---	--

Tính dòng ngắn mạch đối với nguồn công suất vô cùng lớn:

Trong tính toán đơn giản sơ bộ hay trong mạng có nguồn công suất vô cùng lớn thì thành phần chu kỳ của dòng ngắn mạch là không đổi và được tính như sau:

$$I_{ck} = I_{\Sigma}$$

$$I_{ck} = \frac{U_{lb}}{\sqrt{3}X_S} = I_o$$

trong đó: U_{tb} - điện áp trung bình của đoạn có điểm ngắn mạch.

X - điện kháng giữa nguồn và điểm ngắn mạch qui về đoạn có điểm ngắn mạch.

Trong hệ đơn vị tương đối với lượng cơ bản là S_{cb} và $U_{cb} = U_{tb}$ thì:

$$S_N = I_{ck} = \frac{1}{X_s}$$

$$\text{với: } S_N = \sqrt{3} U_{tb} I_{ck}$$

Trong tính toán thực dụng, việc xét đến các hệ thống thường là gần đúng.

- Nếu đã biết trị số dòng siêu quá độ ban đầu I''_o hoặc công suất S''_N khi ngắn mạch 3 pha tại một nút bất kỳ trong hệ thống (hình 6.2), thì có thể xác định điện kháng X_H của hệ thống đối với điểm nút này:

$$X_H = \frac{U_{tb}}{\sqrt{3} \cdot I''_o} \quad \text{hay} \quad X_H = \frac{I_{cb}}{I''_o} \quad (6.1)$$

- Nếu không biết dòng hay công suất ngắn mạch, có thể xác định điện kháng X_H gần đúng từ công suất cắt định mức của máy cắt dùng để cắt công suất ngắn mạch đó (hình 6.3), tức là trong các biểu thức (6.1) ở trên dùng $I_{Cđm}$ và $S_{Cđm}$ thay cho I''_o và S''_N .

SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED. Hình 6.2

SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED. Hình 6.3

- Nếu tại nút đang xét còn có nhà máy điện địa phương (hình 6.3) thì phải giảm bớt lượng I''_F , S''_F do nhà máy điện này cung cấp, tức là trong các biểu thức (6.1) ở trên dùng $(I_{Cđm} - I''_F)$ và $(S_{Cđm} - S''_F)$ thay cho I''_o và S''_N .
- Trường hợp có một số hệ thống liên lạc với nhau qua một số điểm nút, nếu đã biết dòng hay công suất ngắn mạch ở mỗi điểm nút, cũng có thể xác định được điện kháng X_H của hệ thống. Ví dụ, trên hình 6.4 ta có:

$$X_{MS} = \frac{U_{tb}}{\sqrt{3} \cdot I''_M} \quad \text{và} \quad X_{NS} = \frac{U_{tb}}{\sqrt{3} \cdot I''_N}$$

$$X_{MS} = \frac{X_{H1}(X_{H2} + X_{MN})}{X_{H1} + X_{H2} + X_{MN}}$$

$$X_{NS} = \frac{(X_{H1} + X_{MN})X_{H2}}{X_{H1} + X_{H2} + X_{MN}}$$

từ đó, khi đã biết I''_M , I''_N và X_{MN} có thể tính được X_{H1} và X_{H2} .

SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.

Hình 6.4

Tính dòng xung kích:

a) Đối với mạng có công suất vô cùng lớn:

$$I''_o = I_{ck} = I$$

$$\text{lúc đó: } \begin{aligned} i_{xk} &= k_{xk} I_{ckm} = \sqrt{2} k_{xk} I_{ck} \\ I_{xk} &= I_{ck} \sqrt{1 + 2(k_{xk} - 1)^2} \end{aligned}$$

a) Đối với mạng có công suất hữu hạn:

$$i_{xk} = \sqrt{2} k_{xk} I_o \} \} \# I_{rSub} \{ \text{size } 8 \{ \text{ital } xk \} \} = I_{rSub} \{ \text{size } 8 \{ o \} \} rSup \{ \text{size } 8 \{ \sqrt{1 + 2(k_{xk} - 1)^2} \}$$

trong các biểu thức trên, k_{xk} là hệ số xung kích, phụ thuộc vào hằng số thời gian $T_a = L/r$. Khi xét riêng ảnh hưởng của các động cơ và phụ tải tổng hợp thì:

$$i_{xk} = \sqrt{2} k_{xk} I_o \} \} + \text{sqrt} \{ 2 \} k_{rSub} \{ \text{size } 8 \{ \text{ital } xk \} \} I_{rSub} \{ \text{size } 8 \{ \} \} rSup \{ \text{size } 8 \{ \}$$

với: I''_D - dòng siêu quá độ ban đầu do động cơ hay phụ tải cung cấp.

k_{xkD} - hệ số xung kích của động cơ hay phụ tải tổng hợp.

Trung bình có thể lấy giá trị như sau:

- Ngắn mạch tại thanh góp điện áp máy phát hoặc đầu cao áp của máy biến áp tăng: $k_{xk} = 1,9$
- Ngắn mạch ở các thiết bị cao áp xa máy phát: $k_{xk} = 1,8$
- Ngắn mạch phía thứ cấp của các trạm hạ áp ($S < 1000 \text{KVA}$): $k_{xk} = 1,3$
- Đối với động cơ không đồng bộ, độ suy giảm của các thành phần dòng chu kỳ và tự do do nó cung cấp cho điểm ngắn mạch là gần như nhau, có thể lấy: - động cơ cỡ lớn : $k_{xkD} = 1,8$

- động cơ cỡ 100 200KW: $k_{xkD} = 1,5 \ 1,6$

- động cơ cỡ bé và phụ tải tổng hợp: $k_{xkD} = 1$

Tính dòng ngắn mạch duy trì:

Các phần tử được thay thế bởi các tham số giống như ở chế độ làm việc bình thường của hệ thống điện.

a) Đối với hệ thống điện bao gồm các máy phát không có TĐK:

- Máy phát được thay bằng E_q và x_d với $E_q^* = I_f^*$. Nếu chưa biết dòng kích từ I_f thì có thể tính E_q từ chế độ làm việc của máy phát trước khi xảy ra ngắn mạch:

$$\} \} = \text{sqrt} \{ \ (U_{rSub} \{ \text{size } 8 \{ F \} \} \sin j + I_{rSub} \{ \text{size } 8 \{ F \} \} x_{rSub} \{ \text{size } 8 \{ d \} \} \) \ rSup \{ \text{size } 8 \{ 2 \} \} +$$

$$E_q$$

- Phụ tải tập trung tại các nút được thay bằng: $x_{PT} = 1,2$ và $E_{PT} = 0$

- Lập sơ đồ thay thế và biến đổi để tìm dòng ngắn mạch:

$$I_N = I_{ck} = \frac{E_s}{X_s}$$

a) Đối với hệ thống điện bao gồm các máy phát có TĐK:

Trường hợp mạch đơn giản chỉ có một máy phát thì tình trạng làm việc của máy phát khi ngắn mạch duy trì có thể được xác định bằng cách so sánh điện kháng ngắn mạch X_N với X_{th} :

$$X_{th} = x_d \frac{U_{\%om}}{E_{qgh} - U_{\%om}}$$

$$d * \frac{1}{E_{qgh*} - 1}$$

hay khi $U_{cb} = U_{đm}$ thì: $\frac{th*}{X} = x$

Nếu $X_N > X_{th}$ thì máy phát làm việc ở trạng thái định mức và được thay bằng E_{qgh} và x_d với: $E_{qgh*} = I_{fgh*}$

Nếu $X_N < X_{th}$ thì máy phát làm việc ở trạng thái kích từ giới hạn và được thay bằng $U_{đm}$ và $X_F = 0$.

Trường hợp mạch phức tạp có nhiều nguồn liên kết ảnh hưởng nhau thường không thể sử dụng chỉ tiêu nêu trên để xác định tình trạng làm việc của các máy phát. Do đó phải dùng phương pháp gần đúng như sau:

- Tùy thuộc vào vị trí của máy phát đối với điểm ngắn mạch, giả thiết trước tình trạng làm việc của máy phát.
- Lập sơ đồ thay thế và tiến hành tính toán dòng ngắn mạch I_N .
- Kiểm tra lại giả thiết bằng cách tính ngược lại để tìm dòng I_F do mỗi máy phát cung cấp cho điểm ngắn mạch và so sánh với I_{th} của từng máy phát.

$$\frac{E_{qgh*} - 1}{x_{d*}}$$

$$\frac{1}{X_{th*}} =$$

$$th* =$$

$$I$$

- Nếu $I_F > I_{th}$ thì máy phát làm việc ở trạng thái kích từ giới hạn.
- Nếu $I_F < I_{th}$ thì máy phát làm việc ở trạng thái định mức.

Đối với những máy phát đã giả thiết làm việc ở trạng thái kích từ giới hạn cũng có thể kiểm tra theo điện áp đầu cực máy phát ($U_F < U_{đm}$)

Nếu giả thiết đúng xem như bài toán đã giải xong. Nếu giả thiết sai ở một máy phát nào đó cần phải thay đổi trạng thái của nó và tính toán lại.

- Những điểm cần lưu ý:

- Phụ tải làm tăng tổng dẫn so với điểm ngắn mạch, vì vậy nếu bỏ qua ảnh hưởng của phụ tải thì kết quả tính toán có thể có sai số lớn, chỉ bỏ qua ảnh hưởng của phụ tải khi xét đến ngắn mạch ở ngay đầu cực máy phát.
- Phụ tải cũng có thể ảnh hưởng đến tình trạng làm việc của máy phát trong điều kiện ngắn mạch, do vậy cần phải xét đến chúng khi giả thiết.
- Nếu trong hệ thống có máy phát không có TĐK thì thay thế nó bằng E_q và x_d .

Tính dòng ngắn mạch toàn phần:

Để máy cắt làm việc đảm bảo cần chọn $SC_{đm}$ và $IC_{đm}$ của nó sao cho vào thời điểm cắt t ta có: $SC_{đm} > S_{Nt}$ và $IC_{đm} > I_{Nt}$

Do đó cần xác định trị hiệu dụng của dòng ngắn mạch toàn phần vào thời điểm t: $I_{Nt} = \sqrt{I_{ckt}^2 + I_{tdt}^2}$

trong đó, I_{ckt} tính toán bằng giải tích rất phức tạp, thường tra theo đường cong tính toán, còn I_{tdt} được tính bằng biểu thức sau:

$$I_{tdt} = I_{tdo+} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} = \sqrt{2} I_o$$

Thực tế để đơn giản dùng công thức gần đúng sau:

$$I_{Nt} = I_o$$

t : hệ số tính toán, giá trị trung bình của nó có thể lấy như sau:

khi t = 0,05sec: t = 1,1

khi t = 0,1 sec: t = 1

khi t = 0,2 sec: có thể xem $I_{Nt} = I_{ckt}$ vì hầu như thành phần tự do đã tắt hết.

Phương pháp đường cong tính toán:

Đường cong tính toán:

Đường cong tính toán là đường cong biểu diễn trị số tương đối của thành phần chu kỳ trong dòng ngắn mạch tại những thời điểm tùy ý của quá trình quá độ phụ thuộc vào một điện kháng - điện kháng tính toán $x^{*tt} = x''d + x_N$.

$$I_{ckt} = f(x^{*tt}, t)$$

SORRY, THIS MEDIA TYPE IS NOT SUPPORTED.

Hình 6.5

Đường cong được xây dựng theo sơ đồ đơn giản như hình 6.5, trong đó coi rằng trước ngắn mạch máy phát làm việc với phụ tải định mức và phụ tải đó không đổi trong suốt quá trình ngắn mạch, nhánh bị ngắn mạch 3 pha tại điểm N có điện kháng x_N không mang tải trước khi xảy ra ngắn mạch.

Cho x_N các giá trị khác nhau, theo các biểu thức đã biết hoặc bằng mô hình tính I_{ckt} tại điểm ngắn mạch ở các thời điểm khác nhau. Từ kết quả tính được, xây dựng họ đường cong $I_{ckt} = f(x^{*tt}, t)$. Các tham số đều tính trong đơn vị tương đối với lượng cơ bản là định mức của máy phát: $U_{cb} = U_{tb}$ và $S_{cb} = S_{dmF}$.

đường cong tính toán

Hình 6.6

Thực tế có 2 loại đường cong tính toán khác nhau cho 2 loại máy phát: turbine hơi và turbine nước (hình 6.6).

Các đặc điểm của đường cong tính toán như sau:

Khi x^{*tt} càng lớn (ngắn mạch càng xa) thì sự biến thiên của biên độ dòng điện chu kỳ theo thời gian càng ít. Khi $x^{*tt} > 3$ có thể xem $I_{ckt} = I_o$.

Khi xtt càng tăng lên thì sự khác biệt về dòng giữa 2 loại máy phát càng nhỏ và khi xtt > 1 thì đường cong tính toán của 2 loại máy phát hầu như trùng nhau.

Đường cong tính toán tương ứng với các thời điểm khác nhau có thể cắt nhau. Điều này là do tác dụng của thiết bị TĐK làm tăng dòng ngắn mạch sau khi qua một trị số cực tiểu nào đó. Các đường cong tính toán bị giới hạn bởi đường cong $I_{ck} = 1/x \cdot N$ do phải thỏa mãn điều kiện $I_{ckt} \leq U_{dm}/xN$.

Nếu hằng số thời gian Tfo của máy phát khác với Tfoct của máy phát tiêu chuẩn thì cần hiệu chỉnh thời gian t ở đường cong tính toán thành:

$$t' = t \cdot \frac{T_{foct}}{T_{fo}}$$

Đối với máy phát turbine hơi: Tfoct= 7sec, máy phát turbine nước: Tfoct= 5sec.

Đường cong tính toán được vẽ với máy phát có phụ tải định mức, do đó trường hợp máy phát không có phụ tải ở đầu cực thì trị số dòng điện tìm được I_{ck} phải hiệu chỉnh thành:

$$I_{ck} = I_{ck} \cdot \left(\frac{S_{dm}}{S} \right)^{0.5}$$

$$x_{tt} = x_d$$

$$I_{ck}' = (1 +$$

Phương pháp tính toán:

Tính toán theo một biến đổi:

Tính toán theo một biến đổi còn gọi là tính toán theo biến đổi chung. Phương pháp này sử dụng khi khoảng cách giữa các máy phát đến điểm ngắn mạch gần như nhau, lúc đó sự tắt dần của thành phần chu kỳ trong dòng ngắn mạch của các máy phát là gần như nhau, cho nên có thể nhập chung tất cả các máy phát thành một máy phát đẳng trị có công suất tổng để tính toán. Trình tự tính toán như sau:

Lập sơ đồ thay thế trong đơn vị tương đối theo phép qui đổi gần đúng (với các lượng cơ bản S_{cb} , U_{cb} = U_{tb}):

- điện kháng của máy phát lấy bằng x''_d .
- không cần đặt bất kỳ sức điện động nào trong sơ đồ.
- phụ tải có thể bỏ đi, trừ trường hợp những động cơ cỡ lớn nối trực tiếp vào điểm ngắn mạch thì tính toán như máy phát có cùng công suất.

Biến đổi sơ đồ thay thế, đưa nó về dạng đơn giản nhất để tính điện kháng đẳng trị x^* của sơ đồ đối với điểm ngắn mạch.

Tính đổi về điện kháng tính toán:

$$x_{tt} = x_s \cdot \frac{S_{nomS}}{S_{cb}}$$

trong đó: S_{dm} - tổng công suất định mức của các máy phát.

Từ điện kháng tính toán x^{*tt} và thời điểm t cần xét, tra đường cong tính toán (hình 6.6) sẽ tìm được I^{*ckt} .
 Tính đổi về đơn vị có tên (nếu cần) với lượng cơ bản lúc này là S_{dm} và U_{tb} :

$$I_{ckt} = I_{ckt} \cdot I_{\%mS} = I_{ckt} \cdot \frac{S_{\%mS}}{\sqrt{3} \cdot U_{tb}}$$

Một số điểm cần lưu ý:

- Khi $x^{*tt} > 3$ thì dòng chu kỳ không thay đổi và bằng: $I^{*ck} = 1/x^{*tt}$.
- Nếu các máy phát khác loại thì dùng đường cong tính toán của máy phát có công suất lớn, gần điểm ngắn mạch.
- Nếu $r < x/3$ thì không thể bỏ qua điện trở tác dụng và phải tính toán Z , sau đó dùng Z_{tt} thay vì x_{tt} .

Tính toán theo nhiều biến đổi:

Tính toán theo nhiều biến đổi còn gọi là tính toán theo những biến đổi riêng biệt. Phương pháp này sử dụng khi trong sơ đồ khoảng cách từ các máy phát đến điểm ngắn mạch khác nhau nhiều, nhất là khi có nguồn công suất vô cùng lớn, lúc đó phải kể đến sự thay đổi dòng điện riêng rẽ của từng máy phát hay từng nhóm máy phát. Trình tự tính toán như sau:

Lập sơ đồ thay thế, tham số của các phần tử được tính toán gần đúng trong hệ đơn vị tương đối (với các lượng cơ bản S_{cb} , $U_{cb} = U_{tb}$).

Dựa vào sơ đồ xác định nhóm các máy phát có thể nhập chung, hệ thống công suất vô cùng lớn phải tách riêng ra.

Dùng các phép biến đổi đưa sơ đồ về dạng từng nhánh độc lập nối với điểm ngắn mạch.

Tính toán với từng nhánh riêng rẽ theo phương pháp biến đổi chung. Công suất cơ bản để tính x^{*tt} là tổng công suất các máy phát trên mỗi nhánh.

$$x_{tti} = x_{Si} \cdot \frac{S_{\%mSi}}{S_{cb}}$$

Tra theo đường cong tính toán tại thời điểm đang xét tìm ra dòng I^{*ckti} trên mỗi nhánh riêng biệt.

Tính dòng tổng trong hệ đơn vị có tên:

$$I_{ckt} = I^{*ckti} \cdot I_{dm\ i}$$

Nhánh có hệ thống công suất vô cùng tách riêng ra và tính trực tiếp dòng ngắn mạch do nó cung cấp:

$$I_{NH} = \frac{I_{cb}}{x_{NH(cb)}} \text{ hay } I_{NH} = \frac{1}{x_{NH(cb)}}$$

trong đó: $x^{*NH(cb)}$ - điện kháng tương hỗ giữa hệ thống và điểm ngắn mạch tính trong hệ đơn vị tương đối với các lượng cơ bản S_{cb} , $U_{cb} = U_{tb}$.

Thông thường trong tính toán sử dụng 2 đến 3 nhánh biến đổi độc lập.